

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

Решение диссертационного совета от «02» октября 2025 г. № 43

О присуждении Колесниковой Валерии Григорьевне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование магнитных взаимодействий в гибких композитных системах с нано- и микроразмерными ферромагнетиками» по специальности 1.3.12 Физика магнитных явлений принята к защите диссертационным советом МГУ.013.5, протокол № 40 от 19.06.2025.

Соискатель Колесникова Валерия Григорьевна 1997 года рождения, с 2021 по 2025 год осваивала программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия».

В настоящее время соискатель работает младшим научным сотрудником в Научно-образовательном центре «Умные материалы и биомедицинские приложения» Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта.

Диссертация выполнена в Образовательно-научном кластере «Институт высоких технологий» Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук, директор научно-образовательного центра «Умные материалы и биомедицинские приложения» Балтийского федерального университета имени Иммануила Канта Родионова Валерия Викторовна.

Официальные оппоненты:

Елфимова Екатерина Александровна – доктор физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической и математической физики Института естественных наук и математики Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина;

Ховайло Владимир Васильевич – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов Института новых материалов Национального исследовательского технологического университета «МИСИС»;

Семенова Елена Михайловна – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики конденсированного состояния, заместитель декана по учебной работе физико-технического факультета Тверского государственного университета

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их компетентностью в области физики магнитных явлений, в том числе в области исследований магнитных свойств микро- и наноразмерных магнитных материалов, 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 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 5 работ, из них 5 статей, опубликованных 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. **V. Kolesnikova**, J.C. Martínez-García, V. Rodionova, M. Rivas. Study of bistable behaviour in interacting Fe-based microwires by first order reversal curves// Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2020. – Vol. 508. – Art. 166857. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2020.166857>. Импакт-фактор 2,5 (JIF). Объем: 0,3125 п.л. Вклад автора: 0,8.

2. **V. Kolesnikova**, I. Baraban, R. Perez del Real, V. Rodionova, M. Vazquez, Core/shell bimagnetic microwires with asymmetric shell: MOKE and FMR behavior// Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2023. – Vol.

588(part A). – Art. 171399. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171399>. Импакт-фактор 2,5 (JIF). Объем: 0,3125 п.л. Вклад автора: 0,7.

3. K. Sobolev, **V. Kolesnikova**, A. Omelyanchik, Y. Alekhina, V. Antipova, L. Makarova, D. Peddis, Y.L. Raikher, K. Levada, A. Amirov, V. Rodionova, Effect of Piezoelectric BaTiO₃ Filler on Mechanical and Magnetoelectric Properties of Zn_{0.25}Co_{0.75}Fe₂O₄/PVDF-TrFE Composites// Polymers. – 2022. – Vol. 14, no. 22. – Art. 4807. <https://doi.org/10.3390/polym14224807>. Импакт-фактор 4,7 (JIF). Объем: 1 п.л. Вклад автора: 0,5.

4. A. Omelyanchik, V. Antipova, C. Gritsenko, **V. Kolesnikova**, D. Murzin, Y. Han, A. V Turutin, I. V Kubasov, A.M. Kislyuk, T.S. Ilina, D.A. Kiselev, M.I. Voronova, M.D. Malinkovich, N. Parkhomenko, M. Silibin, E.N. Kozlova, D. Peddis, K. Levada, L. Makarova, A. Amirov, V. Rodionova. Boosting magnetoelectric effect in polymer-based nanocomposites // Nanomaterials. – 2020. – Vol. 11, no. 5. – Art. 1154. – P. 1-23. <https://doi.org/10.3390/nano11051154>. Импакт-фактор 4,4 (JIF). Объем: 1,375 п.л. Вклад автора: 0,3.

5. V.D. Salnikov, S.E. Aga-Tagieva, **V.G. Kolesnikova**, A.O. Tovpinets, A.S. Omelyanchik, V. V. Rodionova. Effect of PEG nanoparticle surface coating on the magnetic and structural properties of CoFe₂O₄/PVDF composites// Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2023. – Art. 171498. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2023.171498>. Импакт-фактор 2,5 (JIF). Объем: 0,4375 п.л. Вклад автора: 0,2.

На диссертацию и автореферат поступило 4 дополнительных отзыва, все положительные.

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 получены новые научно-обоснованные прикладные результаты, внедрение которых может внести значительный вклад в развитие наукоемких производств. В частности, показано, что существенный вклад в процесс перемангничивания системы ферромагнитных микропроводов из сплава на основе Fe, помимо магнитостатического поля рассеяния со стороны соседних намагниченных

микропроводов, вносит поле рассеяния концевых доменов, которое влияет на смещение поля переключения на величину до 15 А/м. Разработана методика оценки вклада полей рассеяния от концевых доменов в перемагничивание микропроводов при измерении частных кривых перемагничивания. Исследованы магнитные свойства композитных микропроводов, состоящих из магнитномягкого ферромагнитного микропровода $\text{Fe}_{77,5}\text{B}_{15}\text{Si}_{7,5}$ в стеклянной оболочке с асимметрично нанесенным на поверхность стекла поликристаллическим слоем Co или $\text{Ni}_{84}\text{Fe}_{16}$, достигающим толщины 300 нм. Установлено, что магнитостатическое взаимодействие между жилой и напыляемым внешним слоем отсутствует, а влияние напыляемого слоя отражается в уменьшении объёма аксиально-намагниченного домена металлической жилы магнитномягкого микропровода с 89% от объёма металлической жилы для однофазного микропровода до 78%, для микропровода со слоем пермаллоя $\text{Ni}_{84}\text{Fe}_{16}$, и до 75% - для микропровода со слоем Co. В свою очередь, для пьезоактивных полимерных композитов на основе ПВДФ с магнитным наполнителем (при концентрациях 5, 10 и 15 масс. %) в виде магнитных наночастиц CoFe_2O_4 (CFO) и $\text{Zn}_{0,25}\text{Co}_{0,75}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (ZCFO) (со средним диаметром наночастиц 25-30 нм), диполь-дипольное взаимодействие между частицами является доминирующим и определяет магнитное поведение всей системы. С помощью анализа частных кривых намагничивания показано, что для наночастиц ZCFO интенсивность диполь-дипольного взаимодействия в частицах больше, чем для частиц CFO, что отражается в увеличении отрицательного значения пика функции δm с -0.1 до -0.15 на графике Келли и связано с увеличением величины намагниченности насыщения для наночастиц ZCFO. Изменения видны на диаграмме взаимодействий: для композитов с наночастицами ZCFO происходит смещение пика магнитных взаимодействий ближе к области около нулевых значений по оси коэрцитивности из-за уменьшенной магнитокристаллической анизотропии частиц ZCFO ($H_C \sim 0.6$ кЭ) по сравнению с наночастицами CFO ($H_C \sim 1.5$ кЭ). Добавление сегнетоэлектрических частиц BaTiO_3 (BTO) в состав магнитоэлектрических композитов как с наночастицами CFO, так и с наночастицами ZCFO,

существенно не влияет на ход петли гистерезиса композитов, однако, на диаграмме взаимодействий видны изменения в величинах полей взаимодействий, значения полей взаимодействий увеличиваются на ~ 100 Э при добавлении частиц ВТО. Исследовано влияние полимерного покрытия полиэтиленгликоля (ПЭГ) на поверхности наночастиц СГО. Такое покрытие приводит к улучшенной гомогенности распределения магнитного наполнителя в полимерном композите на основе ПВДФ, что в свою очередь приводит к уменьшению значений полей взаимодействий с $\Delta H_u \sim 900$ Э для композитов с непокрытыми наночастицами до значений $\Delta H_u \sim 800$ Э для композита с наночастицами, модифицированными ПЭГ.

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. В системах магнитостатически взаимодействующих бистабильных микропроводов из сплавов на основе Fe, помимо полей рассеяния от соседних микропроводов, существенную роль в механизме перемагничивания системы играют поля рассеяния концевых доменов, для оценки которых проводится FORC-анализ при измерении частных кривых перемагничивания для микропроводов, в исходном состоянии намагниченных в противоположные стороны.

2. В системах композитных микропроводов, состоящих из магнитномягкого ферромагнитного микропровода из сплава на основе Fe в стеклянной оболочке и магнитнотвердого материала, асимметрично напыляемого на поверхность стекла, магнитное взаимодействие между металлической жилой и напыляемым внешним слоем практически отсутствует (для толщины слоя меньше 300 нм), однако, нанесение такого слоя приводит к уменьшению объёма аксиального домена металлической жилы магнитномягкого микропровода.

3. Для полимерных пьезоактивных композитов ПВДФ с магнитным наполнителем (с концентрацией наполнителя до массовой доли 10%) в виде ферромагнитных наночастиц CoFe_2O_4 и $\text{Zn}_{0.25}\text{Co}_{0.75}\text{Fe}_2\text{O}_4$ диполь-дипольное

магнитное взаимодействие между наночастицами в агломератах является доминирующим над диполь-дипольным взаимодействием агломератов наночастиц, что отражается на диаграмме FORC-распределения в отсутствии дополнительного пика; при добавлении сегнетоэлектрических частиц интенсивность магнитных диполь-дипольных взаимодействий между агломератами наночастиц увеличивается, что отражается в увеличении значений величины полей взаимодействий ΔH_u на FORC-диаграмме.

4. Покрытие поверхности наночастиц полиэтиленгликолем, обуславливающее их лучшую диспергацию в полимерном композите ПВДФ, не влияет на макроскопические магнитные свойства композитов при концентрациях магнитной компонент до 10%, однако уменьшает магнитное дипольное межчастичное взаимодействие.

На заседании 02.10.2025 диссертационный совет принял решение присудить Колесниковой В.Г. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – 0, 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

02.10.2025