

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.358.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № 03

решение диссертационного совета от 04 сентября 2025 г., протокол № 9

О присуждении Циберкину Кириллу Борисовичу, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Коллективная динамика низкотемпературных парамагнетиков и углеродных композитов» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния принята к защите 22 мая 2025 г., протокол заседания № 7, диссертационным советом № 24.2.358.03, созданным на базе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»: 614068, Пермский край, г. Пермь, ул. Букирева, 15. Диссертационный совет создан приказом Минобрнауки России №2134/нк от 27 ноября 2023 г.

Соискатель, Циберкин Кирилл Борисович, 1989 года рождения, в 2010 г. окончил бакалавриат Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пермский государственный университет» по направлению «Физика», в 2012 г. окончил магистратуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», по направлению «Физика». В 2015 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Течения и тепломассоперенос в многофазных жидкостях и пористых средах» по специальности 01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы на заседании Диссертационного совета Д.212.189.06, созданном на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет». В 2021 году ему присвоено ученое звание доцент по научной специальности 1.3.8. – Физика конденсированного состояния.

Место работы соискателя – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский

государственный национальный исследовательский университет», доцент кафедры теоретической физики Физико-математического института.

Научный консультант – Хеннер Виктор Карлович, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», профессор Физико-математического института.

Официальные оппоненты:

Фельдман Эдуард Бенъяминович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией спиновой динамики и спинowego компьютеринга, Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (г. Черноголовка),

Юкалов Вячеслав Иванович, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Лаборатории теоретической физики им. Н. Н. Боголюбова, Международная межправительственная научно-исследовательская организация «Объединенный институт ядерных исследований» (г. Дубна),

Лебедев Николай Геннадьевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры теоретической физики и волновых процессов, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный университет» (г. Волгоград),

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация *Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»* (ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань) в своем положительном отзыве, утвержденном директором, член-корреспондентом РАН, д.ф.-м.н., Калачевым Алексеем Алексеевичем, подготовленным и подписанным ведущим научным сотрудником Лаборатории радиоспектроскопии диэлектриков Казанского физико-технического института им. Е. К. Завойского (КФТИ) – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, д.ф.-м.н., доцентом, Ереминой Рушаной Михайловной, и научным руководителем КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН, академиком РАН, д.ф.-м.н., профессором, Салиховым Кевом Минуллиновичем, указала, что диссертационная работа «Коллективная динамика низкотемпературных парамагнетиков и углеродных композитов» является законченной квалификационной работой и представляет собой актуальное исследование, направленное на развитие теории коллективных мод

намагниченности в концентрированных спиновых системах вблизи насыщения, коллективных электронных мод в наноразмерных структурах.

Основные научные положения, содержащиеся в работе и научных журналах, отражают положения, выносимые на защиту. Автореферат отражает содержание диссертации, а выводы автора являются обоснованными.

Диссертационная работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния (физико-математические науки):

- п. 2: теоретическое и экспериментальное исследование физических свойств упорядоченных и неупорядоченных неорганических и органических систем, включая классические и квантовые жидкости, стекла различной природы, дисперсные и квантовые системы, системы пониженной размерности.

- п. 3: теоретическое и экспериментальное изучение свойств конденсированных веществ в экстремальном состоянии (сильное сжатие, ударные воздействия, сильные магнитные поля, изменение гравитационных полей, низкие и высокие температуры), фазовых переходов в них и их фазовых диаграмм состояния.

- п. 5: разработка математических моделей построения фазовых диаграмм состояния и прогнозирование изменения физических свойств конденсированных веществ в зависимости от внешних условий их нахождения.

- п. 7: теоретические расчеты и экспериментальные измерения электронной зонной структуры, динамики решётки и кристаллической структуры твердых тел.

Диссертационная работа на тему «Коллективная динамика низкотемпературных парамагнетиков и углеродных композитов», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния, полностью соответствует требованиям пп. 9–14 Положения «О порядке присуждения ученых степеней», принятого Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 16.10.2024), а её автор, Циберкин Кирилл Борисович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

- в изданиях из перечня рекомендованных ВАК, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на

соискание ученой степени доктора наук по специальности 1.3.8 Физика конденсированного состояния:

1. *Циберкин К.Б.* Нелинейные волны и солитоны намагниченности в парамагнетике с дипольным взаимодействием // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2018. – Т. 154. – № 6 (12). – С. 1151–1159.
2. *Циберкин К.Б.* Волновая динамика намагниченности ферромагнитной примеси в парамагнитной матрице // Физика металлов и металловедение. – 2021. – Т. 122, № 4. – С. 384–387.
3. *Циберкин К.Б.* Моделирование энергетического спектра углеродной сферы в пределе сплошной среды // Журнал экспериментальной и теоретической физики. – 2022. – Т. 162, вып. 6 (12). – С. 968–974.
4. *Циберкин К.Б., Сосунов А.В., Целиков Г.И.* Исследование спектра поглощения углеродных наносфер // Оптика и Спектроскопия. – 2023. – Т. 131, вып. 8. – С. 1118–1122.
5. *Сосунов А.В., Циберкин К.Б., Хеннер В.К.* Влияние функционализации углеродных нанооболочек на их электрические свойства // Вестник Пермского Университета. Физика. – 2019. – № 2. – С. 63–68.
6. *Циберкин К.Б.* Низкотемпературный антиферромагнетизм в модели Изинга с конкурирующими взаимодействиями // Вестник Пермского Университета. Физика. – 2021. – № 2. – С. 64–71.
7. *Ковычева Е.И., Циберкин К.Б.* Магнитный резонанс сферических и кольцевых спиновых кластеров // Вестник Пермского университета. Физика. – 2022. – № 2. – С. 26–35.

- в изданиях, индексируемых в WoS и Scopus:

8. *Tsiberkin K.B.* Collective spin excitations in 2D paramagnet with dipole interaction // European Physical Journal B. – 2016. – Vol. 89 (2), 54.
9. *Tsiberkin K.B., Belozerova T.S., Henner V.K.* Simulation of free induction decay at low-temperature with spin waves and classical spins // European Physical Journal B. – 2019. – Vol. 92, 140.
10. *Rudakov G.A., Tsiberkin K.B., Ponomarev R.S., Henner V.K., Ziolkowska D.A., Jasinski J.B., Sumanasekera G.* Magnetic properties of transition metal nanoparticles enclosed in carbon nanocages // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2019. – V. 427. – P. 34–39.
11. *Tsiberkin K., Strunina Y.* Magnetism of dimer ensemble with random exchange energy // European Physical Journal B. – 2021. – Vol. 94, 21.
12. *Tsiberkin K.B.* Magnetization wave dynamics within a diluted magnetic semiconductor // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2021. – Vol. 523, 167596.

13. *Tsiberkin K.B.* Continuum model of free induction decay in diluted magnetic composite // *Applied Magnetic Resonance*. – 2021. – Vol. 52 – P. 867–877.
14. *Tsiberkin K.B.* Averaging of the free induction decay from an ensemble of small spin clusters // *European Physical Journal B*. – 2023. – Vol. 96, 70.
15. *Tsiberkin K.B.* Verification of continuum-based model of carbon materials // *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics*. – 2023. – Vol. 14 (5). – P. 539–543.
16. *Tsiberkin K.*, Kovycheva E. Spin-wave model of free induction decay in ring spin cluster // *Applied Magnetic Resonance*. – 2024. – Vol. 55 – P. 565–574.
17. *Tsiberkin K.B.* Magnetization dynamics of a linear dipole chain with accounting for all-to-all interactions // *Physica B*. – 2025. – Vol. 702, 417016.
18. *Tsiberkin K.B.*, Sosunov A.V., Govorina V.V., Neznakhin D.S., Henner V.K., Sumanasekera G. Magnetic properties of carbon nanocages: pure and with the Ni or Co inclusions // *Solid State Sciences*. – 2025. – Vol. 162, 107862.

Кроме того, опубликованы **23** работы в других изданиях.

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований представлены и обсуждены на конференциях:

2nd International Conference and Exhibition on Mesoscopic and Condensed Matter Physics (Чикаго, 2016 г.), научная школа «Нелинейные волны» (Нижний Новгород, 2018, 2024 гг.), Всероссийская конференция «Пермские гидродинамические научные чтения» (Пермь, 2018, 2020, 2023 гг.), Региональная конференция «Физика для Пермского края» (Пермь, 2018–2020 гг.), международная зимняя школа физиков-теоретиков «Коуровка» (Екатеринбург, 2020 г.), 21-я Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества (Екатеринбург, 2021 г.), Международный симпозиум «Неравновесные процессы в сплошных средах» (Пермь, 2021 г.), Международная конференция “Modern Development of Magnetic Resonance” (Казань, 2021, 2023 гг.), Международный симпозиум «EASTMAG-2022» (Казань, 2022 г.), Международная конференция “Magnetic Resonance – Current State and Future Perspectives (EPR-80)” (Казань, 2024 г.), и семинарах:

ПГНИУ по теоретической физике (Пермь, рук. д.ф.-м.н. Демин В.А., 2021, 2022, 2024 гг.), ИТЭФ НИЦ «Курчатовский институт» (Москва, рук. д.ф.-м.н. Джепаров Ф. С., 2024 г.), семинар «Проблемы магнитного резонанса» ИРЭ РАН (Москва, рук. д.ф.-м.н. Ацаркин В. А., 2024 г.), ФТИ им. Иоффе, семинар сектора теории оптических и электрических явлений в полупроводниках (Санкт-Петербург, рук. д.ф.-м.н. Аверкиев Н. С., 2024 г.), Ученый совет КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН (Казань,

председатель д.ф.-м.н. Калачев А. А., 2025 г.), научный семинар ФМИ ПГНИУ (Пермь, рук. д.ф.-м.н. Барулина М. А., 2025 г.).

В работах, опубликованных соискателем ученой степени, в которых изложены основные научные результаты диссертации, недостоверных сведений, заимствований материалов или отдельных результатов без указания ссылок не выявлено.

На автореферат диссертации поступило 6 отзывов, все положительные, содержат замечания:

1. *Ощепков Александр Юрьевич, профессор кафедры радиоэлектроники и защиты информации ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», к.ф.-м.н., доцент:*

- Замечания к тексту автореферата связаны, очевидно, с необходимой краткостью изложения. Так, автор не расшифровал аббревиатуру «РККИ-взаимодействие», повсеместно используемую в тексте, не пояснил, как время может быть пропорционально квадрату или кубу единицы измерения времени (глава 2), не указал тип солитонов, возникающих в разбавленном магнитном композите (глава 3).

2. *Овчинников Александр Сергеевич, профессор кафедры теоретической и математической физики Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», д.ф.-м.н.:*

- В автореферате утверждается, что модели динамики локальной намагниченности описывают системы с РККИ-взаимодействием. Известно, что обменное РККИ-взаимодействие носит дальнodelствующий, осциллирующий характер. Однако, в уравнениях динамики намагниченности (8), оно соотносится со слагаемым вида $j\Delta M$, которое не зависит от конкретного механизма обмена. В чем проявляется специфика РККИ-обмена?

3. *Гафуров Марат Ревгерович, профессор кафедры медицинской физики, директор Института физики ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», д.ф.-м.н.:*

- Термин «РККИ-взаимодействие» используется без ссылки на его определение, не введена аббревиатура АФМ и др., что может затруднить понимание смысла текста для читателей, не знакомых с данными акронимами.

- На рисунках 1, 4, 8 и ряде др. оси абсцисс представлены без указания единиц измерения, что затрудняет понимание иллюстраций для неподготовленного читателя.

- В автореферате недостаточно четко обозначены пути применения авторских моделей в реальных (потенциальных) устройствах спинтроники и магноники.

4. *Кирчанов Вячеслав Сергеевич, доцент кафедры общей физики факультета Прикладной математики и механики ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», к.ф.-м.н.:*

- В качестве замечания к автореферату, отметим, что теоретическое исследование движения энтропии, и ее зависимость от поверхности в сложных малых и особенно фрактальных системах, становится более важным, чем традиционное исследование превращения энергии и связанных с ней величин.

5. *Демидов Сергей Васильевич, главный научный сотрудник лаборатории новых магнитных и сверхпроводящих материалов ФГБУН Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, профессор, д.ф.-м.н.:*

- При рассмотрении спиновой динамики не оценивается вклад колебаний решетки и связанных с ними с релаксационных процессов.

- Введение геометрического параметра – радиуса, объема – при моделировании осредненной динамики намагниченности магнитных нанокластеров избыточно, поскольку он непосредственно связан с параметром энергии дипольного взаимодействия, и потому может быть заменен варьированием последнего.

6. *Баширов Евгений Константинович, профессор кафедры общей и теоретической физики ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королева», профессор, д.ф.-м.н.:*

- Отзыв без замечаний.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается общностью тематики исследования: *ФИЦ КазНЦ РАН* является одним из ведущих центров Российской Федерации в области фундаментальных исследований явлений ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонанса и прикладных разработок в области спиновой физики, спиновой химии и спиновой технологии; *Э. Б. Фельдман* является признанным и известным специалистом в области ядерного магнитного резонанса, динамики квантовых когерентностей и квантовой запутанности; *В. И. Юкалов* – ведущий специалист в области спиновой динамики, спинтроники, физических свойств магнитных наноматериалов; *Н. Г. Лебедев* – известный специалист в области квантовой физики наноструктур и сверхрешеток, ферромагнитных материалов. Официальные оппоненты и ведущая организация имеют широкую известность, высокую научную компетентность, значительные

достижения в данной области науки и способны определить научную и практическую ценность диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны теоретические подходы к построению универсальных моделей эволюции намагниченности одно- и двухкомпонентных низкотемпературных парамагнетиков, описывающих спин-спиновую релаксацию и спиновую диффузию в сильном внешнем поле вблизи состояния насыщения без введения эмпирических параметров, реализацию линейных волн и солитонов намагниченности в таких структурах, а также адаптация методики к расчету эволюции электронной плотности и наблюдаемых характеристик углеродной наноструктуры;

проведены аналитические и численные исследования динамических явлений в концентрированных системах частиц с дипольным или РККИ-взаимодействием, углеродных наноструктурах, с определением границ областей устойчивости волн намагниченности, реализующихся в них, условий существования парамагнитной и немагнитной фаз, переходов между осциллирующими и монотонными сигналами намагниченности, определением ширины запрещённой зоны, электронной пара- и диамагнитной восприимчивости, спектра оптического поглощения сферической углеродной оболочки;

выявлены единая иерархия динамических явлений в дипольных спиновых системах на различных характерных масштабах времени, отвечающих дипольному уширению, формированию волн и солитонов намагниченности, а также характерные для режима коллективных мод универсальные степенные закономерности затухания сигнала поперечной намагниченности на временах, больших времени спин-спиновой релаксации;

обоснованы переход затухания поперечной намагниченности в условиях реализации коллективной динамики между режимами с быстрой расфазировкой спиновых мод и преобладанием спиновой диффузии, проявление смешанных пара- и диамагнитных свойств образцов углеродных нанооболочек после кислотного травления, размывание границ переходов в парамагнитное и немагнитное состояния в системе димеров со случайной величиной взаимодействия;

доказаны ограничения области устойчивости нелинейных волн намагниченности в одно- и двухкомпонентных низкотемпературных парамагнетиках вследствие угловой зависимости энергии дипольной связи, а также несекулярной части дипольного взаимодействия, универсальность

степенного закона затухания поперечной намагниченности в ансамбле спиновых кластеров случайного размера или случайной структуры.

Теоретическая значимость исследования определяется тем, что в нем существенно расширена теория коллективных мод намагниченности в концентрированных системах с дипольным и РККИ-взаимодействием вблизи насыщения, в том числе применительно к описанию спин-спиновой релаксации и спиновой диффузии, нелинейных волн и осредненных сигналов намагниченности в таких материалах. Реализованное систематическое применение приближения сплошной среды к описанию коллективных явлений в мезоскопических системах, магнитных и проводящих материалах выступает эффективным подходом для построения математических моделей спиновой динамики, эволюции электронной плотности, позволяющим устанавливать универсальные закономерности поведения материалов и наноструктур.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что они позволяют прогнозировать рабочие частоты, времена хранения и скорость передачи информации в устройствах спинтроники и магноники: резонаторах и модуляторах, ячейках памяти, применимы к исследованию характеристик перспективных материалов, используемых для построения перечисленных устройств, определению условий устойчивости спиновых состояний, коллективных мод электронной плотности, волн намагниченности в магнитных материалах и наноструктурах.

Оценка достоверности результатов исследования:

Достоверность результатов работы обеспечивается построением теоретических моделей на базе установленных фундаментальных соотношений и представлений квантовой механики, квантовой и статистической теории твёрдых тел, методов нелинейной динамики, сопоставлением результатов аналитических расчётов и численного моделирования, экспериментов при наличии такой возможности, сопоставлением численных результатов, полученных независимыми подходами, согласованием результатов с фундаментальными закономерностями физики магнитных явлений.

Личный вклад соискателя состоит в следующем: автор лично разрабатывал и формулировал теоретические модели коллективной спиновой и электронной динамики, выполнял аналитические расчёты волновых процессов в слабо связанных магнетиках, проводил численное моделирование динамики систем, давал интерпретацию результатов и оценку их применимости, достоверности. В проведении экспериментальных исследований свойств сферических углеродных наноболочек, численного

моделирования в задачах спиновой динамики дипольных систем, автор непосредственно участвовал в планировании исследований, формулировке конкретных задач, интерпретации результатов, верифицировал и модернизировал численные алгоритмы.

В ходе защиты были высказаны следующие **критические замечания**:

- По второй и третьей главам отсутствует сравнение с экспериментальными данными, что несколько снижает ценность полученных в ходе диссертационного исследования теоретических результатов.

- В диссертационной работе используется большое число различных аббревиатур, которые частично не расшифрованы в тексте диссертации и автореферате.

Соискатель К.Б. Циберкин ответил на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями редакционного и стилистического характера и привел собственную аргументацию в отношении высказанных замечаний.

На заседании 04 сентября 2025 г. диссертационный совет принял решение: за теоретическое исследование вклада коллективной спиновой динамики в характеристики одно- и многокомпонентных магнитных материалов с дипольным и РККИ-взаимодействием и развитие систематического применения приближения сплошной среды к описанию коллективных явлений в магнитных и проводящих материалах, наноразмерных структурах, присудить Циберкину Кириллу Борисовичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 9 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 12 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 9; против – 0; недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета 24.2.358.03, доктор физико-математических наук, профессор

Демин Виталий Анатольевич

Ученый секретарь диссертационного совета 24.2.358.03, кандидат технических наук

Сосинов Алексей Владимирович



04 сентября 2025 г.