

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.01
на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук
по диссертации
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 05.06.2025 № 8

О присуждении Федянину Анатолию Евгеньевичу
гражданину Российской Федерации,
ученой степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Лазерно-индуцированная динамика спиновых корреляций на частотах двухмагнонных мод в кубических антиферромагнетиках» по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния» принята к защите 11 марта 2025 г., протокол № 2, диссертационным советом ФТИ 34.01.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе), расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26. Состав диссертационного совета утвержден в количестве 18 человек приказом Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75, прил. 1 от 12 июля 2019 г., приказами Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе от № 5 от 19.01.2021, № 13 от 21.01.2022 и № 15 от 26.01.2024 об изменении состава диссертационного совета ФТИ 34.01.01 и приказом Директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 160 от 21.12.2021 о внесении изменений в шифры специальностей диссертационных советов

Соискатель Федянин Анатолий Евгеньевич, дата рождения – 4 февраля 1996 г., в 2019 году с отличием окончил программу магистратуры НИУ ИТМО по направлению подготовки – 16.04.01 «Техническая физика».

В 2023 году окончил аспирантуру в ФТИ им. А.Ф. Иоффе, в процессе обучения сданы кандидатские экзамены по физике конденсированного состояния, истории и философии науки, иностранному языку (английскому).

В период подготовки диссертации работал в лаборатории физики ферроиков ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника этой же лаборатории.

Диссертация выполнена в ФТИ им. А.Ф. Иоффе.

Научный руководитель:

Калашникова Александра Михайловна, PhD (признаваемая в РФ как степень кандидата наук), заведующий лабораторией физики ферроиков, ведущий научный сотрудник ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Оппоненты:

Овчинников Сергей Геннадьевич, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий кафедрой теоретической физики и волновых явлений, Сибирского федерального университета предоставил положительный отзыв на диссертацию, содержащий 4 вопроса и замечания.

Тарасенко Сергей Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент РАН, ведущий научный сотрудник, заведующий сектором теории квантовых когерентных явлений в твердом теле, ФТИ им. А. Ф. Иоффе предоставил положительный отзыв на диссертацию содержащий 3 замечания.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» предоставила положительный отзыв на диссертацию, содержащий 5 замечаний.

Отзыв подготовили доктор физ.-мат. наук профессор, заведующий кафедрой физики колебаний Физического факультета ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова» Вятчанин Сергей Петрович и доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры физики колебаний Физического факультета ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова» Пятаков Александр Павлович. Отзыв утвердил проректор Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, доктор физ.-мат. наук, профессор РАН Федянин Андрей Анатольевич.

Диссертационная работа обсуждена на заседании физики колебаний ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова» «27» марта 2025 г, протокол № 1.

В заключении отзыва сказано: Результаты, полученные в диссертации, могут быть рекомендованы для ознакомления и использованы в ФГБУН «ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН» (г. Москва), ФГБОУ ВО «МГУ им. М.В. Ломоносова» (г. Москва), ФГБУН ИФМ им. М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург), ФГБОУ ВО «РТУ МИРЭА», ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» и др. как при проведении теоретических исследований, так и при планировании экспериментов.

Материал диссертации в полной мере отражен в опубликованных работах, а автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа Федянина А.Е. «Лазерно-индуцированная динамика спиновых корреляций на частотах двухмагнонных мод в кубических антиферромагнетиках» соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. с действующими изменениями и требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук, а ее автор – Федянин Анатолий Евгеньевич - заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. «Физика конденсированного состояния».

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что они имеют ученые степени доктора наук, работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении ученых степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова» ведет активные исследования в области физики конденсированного состояния, в частности в области магнетизма, магнитооптики, сверхбыстрых лазерно-индуцированных процессов в конденсированных средах. Кроме того, в МГУ им. М.В. Ломоносова действует диссертационный совет по специальности 1.3.8 – физика конденсированного состояния.

Основное содержание диссертации представлено в 3 работах, опубликованных в журналах, соответствующих требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук.

1. Fedianin, A. E. Selection rules for ultrafast laser excitation and detection of spin correlation dynamics in a cubic antiferromagnet / A. E. Fedianin, A. M. Kalashnikova, J. H. Mentink // *Phys. Rev. B.* — 2023. — Т. 107, № 14. — С. 144430.

2. Coherent THz spin dynamics in antiferromagnets beyond the approximation of the Néel vector / F. Formisano, T. T. Gareev, D. I. Khusyainov, A. E. Fedianin, R. M. Dubrovin, P. P. Syrnikov, D. Afanasiev, R. V. Pisarev, A. M. Kalashnikova, J. H. Mentink [и др.] // *APL Mater.* — 2024. — Т. 12, № 1. — С. 011105.

3. Fedianin, A. E. Spontaneous and impulsive stimulated Raman scattering from two-magnon modes in a cubic antiferromagnet / A. E. Fedianin, A. M. Kalashnikova, J. H. Mentink // *Physical Review B.* — 2024. — Т. 110, № 17. — С. 174439.

На автореферат поступило 3 отзыва.

1. Отзыв доктора физико-математических наук, профессора кафедры магнетизма МГУ им. М.В. Ломоносова Грановского Александра Борисовича положительный, содержит 2 замечания:

- В выражение (1) входит некий геометрический параметр. Следовало дать пояснение, какую роль играет этот параметр.
- Имеется ряд технических недочетов. Так, на рис. 3, рис. 5 и в Ур. (4) эллиптичность пробирующего импульса обозначена разными символами. В тексте иногда встречаются не вполне корректные термины, грамматические неточности (например, в пятой строчке автореферата).

2. Отзыв кандидата физико-математических наук, ООО «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий» Андрея Николаевича Калиша положительный содержит 5 замечаний:

- Излишняя краткость в изложении. В автореферате опускаются такие аспекты работы, как используемые приближения и преобразования гамильтониана.
- В подписи к рис. 6 указано, что псевдовектор спиновых корреляций и эффективное поле приведены для одного из волновых векторов. Отсутствие более точного указания на то, для какой точки в зоне Бриллюэна приведены данные схемы, осложняет понимание соответствующего раздела.
- В тексте автореферата нет ссылок и пояснений к рис. 2(a) и 2(b).
- Среди результатов работы указано установление оптимальной длительности возбуждающего импульса порядка $\frac{1}{4}$ периода двухмагнионной моды, однако в тексте автореферата это утверждение не поясняется.
- Надписи на графиках выполнены на английском языке. Также в тексте присутствует много опечаток.

3. Отзыв доктора физико-математических наук, доцента, руководителя лаборатории «Антиферромагнитная спинтроника» ИРЭ РАН Ансара Ризаевича Сафина положительный, содержит 2 замечания:

- Выражение (2) играет значимую роль в данной работе, однако его происхождение никак не комментируется.
- Аналитическое выражение для рамановского тензора представляется как один из результатов работы, но в явном виде в реферате оно не представлено.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем работ по теоретическому описанию динамики пространственных спиновых корреляций в прозрачном кубическом антиферромагнетике при воздействии на него фемтосекундного лазерного импульса были получены следующие основные результаты:

1. Предложено теоретическое описание полного процесса возмущения обменного взаимодействия кубического гейзенберговского антиферромагнетика электрическим полем лазерного импульса; возбуждаемой при этом спиновой динамики; и её проявления в модуляции оптических свойств материала (эффект магнитной рефракции). Таким образом, удалось описать процесс оптического возбуждения когерентной спиновой динамики на частотах двухмагнонных мод, лежащих в терагерцовом диапазоне

2. На основе предложенного теоретического описания показано, что оптическое возбуждение и детектирование терагерцовой динамики спиновых корреляций в антиферромагнетиках определяется поляризацией импульсов относительно ориентации ближайших магнитных ионов, обменное взаимодействие между которыми является доминирующим. Воздействие электрического поля лазерного импульса приводит к изменению величины обменного взаимодействия, и может составлять порядка 1% для KNiF_3 при плотности энергии лазерного импульса порядка 10 мДж/см^2 .

2. Показано, что такое возмущение обменного взаимодействия антиферромагнетика приводит к динамике антиферромагнитного вектора только при наличии существенной магнитной анизотропии, однако динамика будет характеризоваться частотами, соответствующими модам в окрестности центра зоны Бриллюэна.

3. Путём введения псевдовектора спиновых корреляций показано, что динамика спиновых корреляций, соответствующая двухмагнонной моде, описывается дифференциальным уравнением первого порядка, что указывает на отсутствие инерции, характерной для однородной динамики

антиферромагнитного вектора. Также для возбуждения двухмагнонных мод имеется характерная длительность возбуждения порядка $1/4$ обратной частоты магнона на границе зоны Бриллюэна.

4. Впервые получены в рамках единого формализма теоретические спектры спонтанного комбинационного рассеяния света и импульсного вынужденного комбинационного рассеяния света (ИВКРС) на двухмагнонных модах, и выявлены их отличия. Показано, что ширина спектра ИВКРС увеличивается, а положение пика смещается, что связано с когерентным характером двухмагнонных мод, детектируемых в данном случае.

Все научные результаты являются новыми и имеют фундаментальную значимость. Разработанный формализм на основе псевдовектора спиновых корреляций может быть использован в дальнейшем для описания терагерцовой спиновой динамики в антиферромагнетиках с более сложными кристаллическими и обменными структурами, а также для планирования экспериментов по селективному и управляемому возбуждению двухмагнонных мод. Такие работы представляют интерес для развития терагерцовой спинтроники и магноники.

Высокая степень достоверности результатов обеспечивается их непротиворечием современным представлениям физики конденсированного состояния, использованием проверенных теоретических подходов. Обоснованность сделанных заключений и сформулированных положений подтверждается, в том числе, качественным и количественным согласием полученных теоретических результатов с имеющимися в литературе экспериментальными данными.

Полученные результаты позволили соискателю сформулировать и защитить следующие положения:

1. В кубических диэлектрических гейзенберговских антиферромагнетиках возмущение обменного взаимодействия линейно поляризованными фемтосекундными лазерными импульсами индуцирует динамику спиновых корреляций, амплитуда и фаза которой зависит от поляризации импульса по

отношению к ориентации связи между ближайшими магнитными соседями. Частотный спектр наблюдаемой динамики соответствует спектру двухмагнонных мод.

2. В рассматриваемых антиферромагнетиках в отсутствие магнитной анизотропии лазерно-индуцированная динамика спиновых корреляций на частоте двухмагнонных мод не вызывает продольных или поперечных осцилляций антиферромагнитного вектора, однако проявляется в динамической анизотропной модуляции диэлектрической проницаемости в оптическом диапазоне.

3. Движение псевдовектора спиновых корреляций, связанных с двухмагнонными модами, описывается дифференциальным уравнением первого порядка, что показывает отсутствие инерции у соответствующей динамики и задаёт оптимальную длительность возбуждающего импульса, сравнимую с $1/4$ периода двухмагнонной моды на краю зоны Бриллюэна.

4. Относительное уширение и сдвиг спектров импульсного вынужденного и спонтанного комбинационного рассеяния света на двухмагнонной моде, обнаруженные в экспериментальных работах, связаны с когерентным характером мод, наблюдаемых в случае импульсного вынужденного рассеяния, и чувствительностью этой методики к амплитуде и фазе динамики спиновых корреляций.

Защищаемые результаты диссертационной работы получены соискателем лично. Вклад автора в получение всех теоретических результатов, их обработку и описание, а также в написание статей является определяющим. Соискателем разработан формализм псевдовекторов спиновых корреляций, позволяющий описывать терагерцевую магнитную динамику в кубических антиферромагнетиках. Автор принимал активное участие в подготовке докладов по результатам работы и лично представлял их на научных конференциях и семинарах.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 11 докторов наук по специальности 1.3.8 - «физика конденсированного состояния», участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

На заседании 5 июня 2025 года диссертационный совет принял решение присудить Федянину Анатолию Евгеньевичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – «физика конденсированного состояния».

Председатель

диссертационного совета

доктор физ.-мат. наук

Ю.Г. Кусраев

Ученый секретарь

диссертационного совета

PhD

А.М. Калашникова

5 июня 2025 г.