

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.133.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН),
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ФИЗИКО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК**

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 15.10.2021 № 11

О присуждении Савченко Сергею Павловичу ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Фокусировка, каустика и вырождение спиновых волн в магнитоупорядоченных средах» по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений принята к защите 29.06.2021 (протокол заседания N 10) диссертационным советом 24.1.133.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук (ИФМ УрО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 620108, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015. Соискатель Савченко Сергей Павлович, 31 декабря 1991 года рождения. В 2015 году соискатель окончил «Уральский федеральный университет им. первого Президента Б.Н. Ельцина» по специальности 140302 Физика атомного ядра и частиц. Савченко С.П. освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в очной аспирантуре при ИФМ УрО РАН,

выдавшем удостоверение №2 от 09.06.2021 г. о том, что Савченко С.П. сдал кандидатские экзамены и окончил аспирантуру 30.06.2020 г.

Диссертация выполнена в лаборатории кинетических явлений Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук.

Научный руководитель - кандидат физико-математических наук Борич Михаил Александрович работает старшим научным сотрудником лаборатории кинетических явлений ИФМ УрО РАН.

Официальные оппоненты:

- 1) Бычков Игорь Валерьевич доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиофизики и электроники Челябинского государственного университета, г. Челябинск.
- 2) Грановский Александр Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры магнетизма Московского государственного университета, г. Москва.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный университет», г. Уфа в своем положительном отзыве, подписанном Вахитовым Робертом Миннисламовичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой теоретической физики ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» указала: «краткий анализ содержания позволяет сделать вывод о том, что диссертация С.П. Савченко является законченной научно-исследовательской работой. Решенные в диссертационной работе задачи представляют несомненный интерес для физики магнитных явлений, а аккуратность проведенных расчетов и точность изложения материала свидетельствуют о высокой квалификации автора... Считаем, что диссертационная работа Савченко С.П. «Фокусировка, каустика и вырождение спиновых волн в

магнитоупорядоченных средах» соответствует требованиям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Савченко Сергей Павлович заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений».

Соискатель имеет 23 опубликованных работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 23 работы, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 9 работ.

В результате проведенных автором исследований определены особенности фокусировки, каустики и вырождения спиновых волн в магнитоупорядоченных средах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Борич, М.А. Связанные магнитостатические электронно-ядерные колебания в магнитных материалах [Текст]/ Борич М.А., Савченко С.П., Танкеев А.П. // Физика твердого тела. — 2019. — т. 61. — с. 62—71.
2. Бахарев, С.М. Особенности фокусировки спиновых волн в кристаллах EuO и EuS / Бахарев С.М., Савченко С.П., Танкеев А.П. // Физика твердого тела. — 2019. — т. 61. — с. 257—266.
3. Borich, M.A. Degenerated nuclear magnetostatic modes in ferromagnets [Текст]/ M.A.Borich, S.P.Savchenko, A.P.Tankeyev // Magnetic Resonance in Solids. — 2018. — V. 20.— P. 18104—18111.
4. Бахарев, С.М. Особенности фокусировки спиновых волн в ферромагнетиках [Текст]/ С.М. Бахарев, С.П. Савченко, А.П. Танкеев // Физика твердого тела. — 2018. — V. 60.— P. 2358—2369.
5. Bakharev, S.M. Focusing and Caustic of Spin Waves in Antiferromagnetic Crystals with BCT Lattice [Текст]/ S.M.Bakharev, M.A.Borich, S.P.Savchenko // Journal of Magnetism and Magnetic Materials – 2019 – 165294

6. Бахарев, С.М. Фокусировка и каустика магнонов в ферромагнитных полупроводниках с ГЦК структурой [Текст]/ С.М.Бахарев, С.П.Савченко, А.П.Танкеев // Известия РАН. Серия физическая – 2019 – т. 83, с. 904–906
7. Bakharev, S.M. Magnon caustics in face centered cubic ferromagnets [Текст]/ S.M.Bakharev, M.A.Borich, S.P.Savchenko // J. Phys.: Conf. Ser. — 2019 — 012154 — P.1-8
8. Bakharev, S.M. Features of focusing magnetoelastic waves in YIG crystals [Текст]/ S.M.Bakharev, M.A.Borich, S.P.Savchenko // J. Phys.: Conf. Ser. — 2019 — 012096 — P.1-7
9. Bakharev, S.M. Caustic of magnetoelastic waves in elastically isotropic ferromagnets [Текст]/ S.M.Bakharev, M.A.Borich, S.P.Savchenko //Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2021. – V.530. – 167862.

На диссертацию и автореферат поступили 4 отзыва:

1. От Владимира Григорьевича Шаврова, доктора физико-математических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории магнитных явлений в микроэлектронике института радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН г. Москва, Россия.

Замечание: Исследование магнитоупругих волн проводилось на примере ЖИГ. Анизотропией упругой подсистемы, судя по тексту автореферата, автор пренебрегает. Однако наличие магнитоупругого взаимодействия может привести к появлению магнострикции, что в свою очередь приведет к тому, что образец в основном состоянии окажется деформированным, и в нем появится анизотропия упругих свойств. На мой взгляд, в работе не хватает обсуждения того, как изменится картина каустики магнитоупругих волн при наличии в упругой подсистеме слабой анизотропии.

2. От Дмитрия Сергеевича Полухина, кандидата технических наук, научного сотрудника лаборатории теоретической физики Института физики им. Л.В.Киренского, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск, Россия.

Замечания:

1. В автореферате не указан диапазон температур, в котором результаты, полученные автором в главе 2 для электронно-ядерных колебаний, остаются справедливыми.

2. В главе 3 исследуются ферромагнетики и антиферромагнетики с различными типами кристаллической решетки. Для ГЦК-ферромагнетиков приведены примеры веществ с положительным и отрицательным отношением обменных постоянных (EuO, EuS), но не приведены исследования ферромагнетиков с простой кубической и ОЦК-решетками.

3. В автореферате хочется увидеть рисунки покрупнее.

3. От Дорошенко Рюрика Александровича Д. ф.-м. н., профессора, заведующего лабораторией антиферромагнетиков и ферритов Института физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, Уфа, Россия и Шульги Николая Владимировича к. ф.-м. н., научного сотрудника лаборатории антиферромагнетиков и ферритов Института физики молекул и кристаллов УФИЦ РАН, Уфа, Россия.

Замечания:

1. В описании Рис. 8 сказано, что каустика магнитоупругих волн может наблюдаться лишь у малой окрестности магнитоупругого резонанса (шириной 0.28 МГц). Хотелось бы увидеть оценку того, насколько реально исследование этой области экспериментальными методами, и оценку влияния затухания в спиновой системе на ширину этой области.

2. При описании главы 4 подробно описывается поведение спиновых волн в массивном образце упруго-изотропного ферромагнетика и сказано лишь несколько слов о том, как изменится результат, если рассматривать пленку конечной толщины. Однако часть вывода 4 автореферата: «В ферромагнитных пленках диапазон частот каустики оказывается достаточно широким (диапазон частот от 0.072 до 0.247 ГГц, если величина внешнего поля равна 2 кЭ», говорит о том, что и пленкам уделяется достаточное внимание в диссертации, но это не отражено в автореферате.

3. Несколько замечаний по оформлению: 3.1) не очень аккуратно сделаны подписи к рисункам. Например, Рис. 4 и 5 одинаковы по структуре, но первый подписан как «Поверхность постоянной частоты», а второй «изоповерхность». Поскольку они приведены на одной странице, то подписи следовало сделать единообразными; 3.2) на Рис. 6 подпись недостаточна информативна — не понятно, для каких веществ построена эта картина каустики, что означают сплошные линии, что — штриховые; 3.3) В последней строке вывода 4 автореферата содержится грамматическая ошибка: скобка открывается, но не закрывается.

4. От Бадиева Магомедзагира Курбановича, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника лаборатории «Вычислительной Физики и Физики Фазовых переходов» института физики ДФИЦ РАН, Махачкала, Россия.

Замечание: При исследовании магнитоупругих волн в объемном кристалле ЖИГ намагниченность насыщения полагается направленной вдоль направления [001]. Однако величина постоянной анизотропии в нем отрицательна, и, следовательно, в малых полях намагниченность должна быть направлена вдоль [111]. В реферате не указано, при каких величинах магнитного поля предложенная модель справедлива. С другой стороны, при малых значениях магнитных полей следует ожидать ориентационных фазовых переходов, в этих условиях спиновые волны обладают еще более интересными особенностями, и явления фокусировки и каустики могут проявляться ещё более ярко.

Выбор официальных оппонентов доктора физико-математических наук, профессора Бычкова И.В. и доктора физико-математических наук, профессора, профессора кафедры магнетизма Грановского А.Б., а также ведущей организации Башкирского государственного университета, г.Уфа обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Определены особенности связанных электронно-ядерных колебаний в окрестности частот ЯМР в $MnFe_2O_4$. Получены зависимости собственных частот связанных колебаний электронных и ядерных спинов в ферромагнитных образцах эллипсоидальной формы с анизотропией типа «легкая ось» от отношения полуосей эллипсоида вращения и величины внешнего поля.
2. Показано, что в ферромагнетиках с кубической решеткой и в антиферромагнетиках с объемно-центрированной тетрагональной решеткой фокусировка магнонов возможна при положительных значениях отношения параметров обменного взаимодействия с первыми и вторыми соседями, а для отрицательных значений этого отношения – их каустика. Определены зависимости границ диапазона частот каустики от величины отношения

обменных параметров и найдены зависимости направления каустики от частоты в плоскостях $\{100\}$ и $\{110\}$.

3. Установлено, что для соединений EuO и MnF_2 , имеющих положительное отношение обменных параметров, эффекты фокусировки проявляются слабо, а для EuS с отрицательным отношением обменных параметров выявлены значительные эффекты фокусировки. Получено, что каустика магнонов может наблюдаться в узкой области частот для волновых векторов вблизи границы зоны Брюллиэна. Определены характерные частоты каустики для EuS .

4. Показано, что взаимодействие магнитной и упругой подсистем в железиттриевом гранате может приводить к возникновению каустики магнитоупругих волн. Выявлено различие в каустике магнитоупругих волн в массивных и пленочных ферромагнитных образцах.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

- численными методами изучены электронно-ядерные магнитостатические колебания волн со сложными законами дисперсии;
- метод исследования фокусировки волн применен для изучения спиновых и магнитоупругих волн в магнетиках.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

1. Результаты исследования электронно-ядерных колебаний в ферромагнетиках сфероидальной формы могут быть использованы для создания новых устройств микроэлектроники и для объяснения результатов экспериментов по магнитному резонансу.

2. Возможность фокусировки и каустики спиновых и магнитоупругих волн может быть использована для передачи информации с помощью спиновых волн на частотах СВЧ-диапазона.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что применены проверенные и хорошо апробированные методы теоретического расчета спектра волн в кристаллах, обоснован выбор приближений. Полученные результаты согласуются с имеющимися литературными данными.

Личный вклад соискателя состоит в том, что автором лично получены выражения для законов дисперсии электронно-ядерных колебаний, спиновых и магнитоупругих волн, и исследованы их аналитические следствия. Автором лично проведены необходимые численные расчеты для исследования фокусировки спиновых и магнитоупругих волн. Обсуждение результатов исследований проводилось автором совместно с кандидатом физико-математических наук Боричем М. А. и кандидатом физико-математических наук Бахаревым С. М. Автор участвовал в подготовке статей и тезисов, представлял доклады на научных конференциях.

Диссертация представляет собой научно-квалификационную работу и соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемых к кандидатским диссертациям.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 15.10.2021 диссертационный совет принял решение присудить Савченко Сергею Павловичу ученую степень кандидата физико-математических наук за решение научной задачи о неоднородных электронно-ядерных колебаниях в ферромагнетиках сфероидальной формы с

легкоосной анизотропией, имеющей значение для развития представлений о распространении спиновых волн в анизотропных средах и для развития физики магнитных явлений.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 1.3.12. Физика магнитных явлений, 6 докторов наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния, 6 докторов наук по специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: «за» – 17, «против» – нет, «недействительных бюллетеней» – нет.

Председатель диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук, академик РАН

Устинов В.В.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

Чарикова Т.Б.

18.10.2021