

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.103.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА
ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ИМ. П.Л. КАПИЦЫ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от « 26 » июня 2019 г., протокол №
141.

О присуждении Солдатову Тимофею Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Электронный спиновый резонанс в спин-цепочечных антиферромагнетиках с однородным взаимодействием Дзялошинского-Мории» по специальности 01.04.09 – “Физика низких температур” принята к защите 17 апреля 2019 г. (протокол заседания № 139) диссертационным советом Д 002.103.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки (ФГБУН) Института физических проблем им. П.Л. Капицы Российской академии наук (ИФП РАН), 119334, г. Москва, ул. Косыгина, д. 2. Совет создан на основании приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от 11 апреля 2012 г. № 105/нк.

Соискатель Солдатов Тимофей Александрович, 1990 г. рождения, в 2015 г. окончил магистратуру Московского физико-технического института (МФТИ) по специальности 03.04.01 – “Прикладные математика и физика”. С 2015 г. по 2019 г. обучается в аспирантуре МФТИ по направлению 03.06.01 – “Физика и астрономия”, направленности 01.04.09 – “Физика низких температур”. В настоящее время работает в ИФП РАН в должности младшего научного сотрудника.

Диссертационная работа Т.А. Солдатова посвящена изучению магнитных явлений в кристаллах при низких температурах. В кристаллах, содержащих магнитные ионы, обычно реализуется магнитоупорядоченное состояние. В обычных трехмерных ферромагнетиках и антиферромагнетиках температура упорядочения T_N практически совпадает с температурой Кюри-Вейсса T_{CW} , имеющей порядок величины энергии обменного взаимодействия. Однако, среди магнитных кристаллов можно выделить так называемые квантовые магнетики, которые не упорядочиваются при температурах много меньше T_{CW} , но находятся в

сильно коррелированном состоянии. В квантовых магнетиках отсутствие классического порядка обусловлено квантовыми спиновыми флуктуациями. Диссертация Т.А. Солдатова посвящена экспериментальному исследованию элементарных возбуждений в квантовых магнетиках цепочечного типа методом электронного спинового резонанса (ЭСР). Диссертационная работа была выполнена в ИФП РАН.

В трехмерных ферромагнетиках и антиферромагнетиках, находящихся в упорядоченном состоянии, элементарными магнитными возбуждениями являются магноны, несущие спин $S = 1$ и представляющие собой распространяющиеся в кристалле колебания намагниченности магнитных подрешеток. Однако, в квантовых магнетиках возбуждения имеют более сложную структуру, поскольку магнитный порядок отсутствует, и спины сильно флуктуируют. Например, элементарными возбуждениями в гейзенберговской цепочке спинов $S = 1/2$ с антиферромагнитным обменом являются спиноны, несущие дробный спин $S = 1/2$, а в экспериментах по рассеянию нейтронов наблюдаемый спектр возбуждений имеет характер континуума (так называемого двухспинонного континуума). Спиноны представляют собой элементарные возбуждения в системах без магнитного порядка, поэтому их исследование является актуальной и перспективной задачей.

Цель диссертационной работы Т.А. Солдатова заключалась в экспериментальном изучении тонкой структуры спектра спинонных возбуждений и ее эволюции в сильном магнитном поле. Упомянутая тонкая структура возникает под действием однородного взаимодействия Дзялошинского-Мории в цепочечных магнетиках. Объектами исследований в диссертации являются квантовые цепочечные магнетики Cs_2CuCl_4 , $K_2CuSO_4Cl_2$ и $K_2CuSO_4Br_2$ со спином магнитного иона $S = 1/2$.

Научным руководителем Т.А. Солдатова является доктор физико-математических наук, профессор Смирнов Александр Иванович, ведущий научный сотрудник ИФП РАН.

Официальными оппонентами выступили:

- Мухин Александр Алексеевич, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией диэлектрической спектроскопии магнитных материалов Института общей физики имени А. М. Прохорова Российской академии наук (ИОФ РАН);
- Бурмистров Игорь Сергеевич, доктор физико-математических наук, исполняющий обязанности заместителя директора Института теоретической физики им. Л.Д. Ландау Российской академии наук (ИТФ РАН).

Оба оппонента дали положительные отзывы на диссертацию с незначительными замечаниями.

Ведущая организация, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»» (ФИЦ КазНЦ РАН), в лице Казанского физико-технического института им. Е. К. Завойского (КФТИ) - обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН в своем положительном отзыве, составленном Ереминой Рушаной Михайловной, доктором физико-математических наук, доцентом, ведущим научным сотрудником КФТИ, и утвержденном директором ФИЦ КазНЦ РАН, доктором физико-математических наук, профессором, академиком Синяшиным Олегом Герольдовичем, указала, что выполненная на современном уровне научных исследований диссертационная работа Т.А. Солдатова удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 – “Физика низких температур”.

Соискатель имеет 9 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 работы. Все работы опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в базу данных Web of Science.

Список научных работ по теме диссертации:

1. Zvyagin S. A., Kamenskyi D., Ozerov M., Wosnitza J., Ikeda M., Fujita T., Hagiwara M., Smirnov A. I., Soldatov T. A., Shapiro A. Ya., Krzystek J., Hu R., Ryu H., Petrovic C., Zhitomirsky M. E. Direct Determination of Exchange Parameters in Cs_2CuBr_4 and Cs_2CuCl_4 : High-Field Electron-Spin-Resonance Studies. // Physical Review Letters. – 2014. – V. 112. – № 7. – P. 077206.
2. Smirnov A. I., Soldatov T. A., Povarov K. Yu., Shapiro A. Ya. High-field magnetic resonance of spinons and magnons in the triangular lattice $S = 1/2$ antiferromagnet Cs_2CuCl_4 . // Physical Review B. – 2015. – V. 91. – № 17. – P. 174412.
3. Smirnov A. I., Soldatov T. A., Povarov K. Yu., Hälg M., Lorenz W. E. A., Zheludev A. Electron spin resonance in a model $S = 1/2$ chain antiferromagnet with a uniform Dzyaloshinskii-Moriya interaction. // Physical Review B. – 2015. – V. 92. – № 13. – P. 134417.
4. Soldatov T. A., Smirnov A. I., Povarov K. Yu., Hälg M., Lorenz W. E. A., Zheludev A. Spin gap in a quasi-1D $S = 1/2$ antiferromagnet $\text{K}_2\text{CuSO}_4\text{Cl}_2$. // Physical Review B. – 2018. – V. 98. – № 14. – P. 144440.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован известностью их работ в области физики низких температур и низкотемпературного магнетизма, высокой степенью научного авторитета, обусловленного компетентностью и значимостью их работ.

Диссертационный совет отмечает наиболее важные результаты диссертационной работы Т. А. Солдатова:

- Изучено поведение низкочастотной тонкой структуры спинонного континуума в сильных магнитных полях в квазидвумерном антиферромагнетике Cs_2CuCl_4 в спин-жидкостной фазе. Обнаружен коллапс дублета резонансных линий тонкой структуры (спинонного дублета) при увеличении поля до половины поля насыщения.
- Исследован спектр магнитного резонанса в квазидвумерном антиферромагнетике Cs_2CuCl_4 при низких температурах в насыщенной фазе. Наряду с интенсивной резонансной линией на ларморовской частоте обнаружена слабая резонансная мода с частотным сдвигом, соответствующим энергии межцепочечного обмена. Возбуждение этой моды, запрещенной для наблюдения в обменном приближении, объяснено наличием взаимодействия Дзялошинского-Мории между спинами в соседних цепочках. Изучена температурная зависимость сдвига резонансного поля моды, выявляющая взаимное отталкивание магнонов.
- Изучен спектр магнитного резонанса в квазиодномерном антиферромагнетике $K_2CuSO_4Br_2$. В спин-жидкостной фазе обнаружены энергетическая щель в нулевом поле, тонкая структура в виде дублета резонансных линий и мягкая мода в магнитном поле. Установлено, что полученные частотно-полевые диаграммы в слабых полях находятся в хорошем согласии с теорией о модификации спинонного континуума однородным взаимодействием Дзялошинского-Мории. Выявлено исчезновение спинонного дублета в поле, составляющем 13 % от поля насыщения.
- Исследован спектр магнитного резонанса в квазиодномерном антиферромагнетике $K_2CuSO_4Cl_2$. Обнаружена энергетическая щель в нулевом поле. Установлено, что частотно-полевая зависимость спектра находится в качественном согласии с теорией формирования тонкой структуры под действием однородного взаимодействия Дзялошинского-Мории, однако, спин-щелевая мода и спинонный дублет существенно подавлены в результате конкуренции межцепочечного обмена с взаимодействием Дзялошинского-Мории. Сделан вывод о том, что наблюдаемый спектр представляет собой кроссовер между щелевым спектром изолированной цепочки спинов $S = 1/2$ с однородным

взаимодействием Дзялошинского-Мории и спектром ларморовского типа квазиодномерного гейзенберговского антиферромагнетика.

Результаты диссертационной работы Т.А. Солдатова важны для физики низких температур и низкоразмерных магнитных систем, подтверждая концепцию спинонов как элементарных возбуждений в цепочках спинов $S = 1/2$ с антиферромагнитным обменом и обнаруживая необычную модификацию спектра возбуждений на малых волновых векторах под действием однородного взаимодействия Дзялошинского-Мории. Важным результатом Т.А. Солдатова является экспериментальное обнаружение спектра возбуждений в квантово-разупорядоченной фазе, отличающегося образованием энергетической щели, дублета резонансных линий и мягкой моды. Полученные экспериментальные данные стимулируют дальнейшие теоретические исследования элементарных возбуждений в квантовых магнетиках при учете различных взаимодействий в реальных кристаллах. Работа Т.А. Солдатова открывает перспективу исследования спектров элементарных возбуждений в упорядоченных сверхнизкотемпературных фазах квантовых магнетиков $K_2CuSO_4Br_2$ и $K_2CuSO_4Cl_2$, в которых упорядоченная компонента ожидается малой, и спектр должен проявлять особенности как упорядоченного магнетика, так и квантовой жидкости, и, возможно, демонстрировать резонансные моды принципиально нового типа. Кроме того, за время работы соискатель изготовил новые спектрометрические вставки, расширяющие температурный и частотный диапазон, которые могут быть использованы для исследований других соединений.

Все полученные результаты являются новыми и хорошо обоснованными. Их достоверность не вызывает сомнения и обеспечивается применением эффективных экспериментальных методов исследования, сравнением данных, полученных различными методами, их многократной повторяемостью, аккуратной обработкой экспериментальных данных и тщательным анализом погрешностей. Обоснованность определяется глубоким и всесторонним анализом результатов на базе имеющихся теоретических моделей.

Личный вклад соискателя состоит в разработке и запуске в действие экспериментальных установок, проведении экспериментальных измерений, обработке и анализе экспериментальных данных, интерпретации результатов, написании статей, выступлении с полученными научными результатами на конференциях международного уровня и семинарах.

На заседании «26 » июня 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Т.А. Солдатову ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.09 – “Физика низких температур”.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 8 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

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

Москвич

А.Ф. Андреев

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат физико-математических наук

H. J. G.

А.Н. Юдин

«26» июня 2019 г.