

## ОТЗЫВ

Официального оппонента на диссертацию СЕРГЕЙЧЕВОЙ Елены Геннадьевны «МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В КВАЗИОДНОМЕРНОМ СЛАБО УПОРЯДОЧЕННОМ АНТИФЕРРОМАГНЕТИКЕ  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 1.3.10- физика низких температур)

Актуальность темы. Низкоразмерные магнитные системы привлекают огромное внимание в физике конденсированного состояния. Из-за квантовых флуктуаций и фрустрации обменных взаимодействий в них происходит заметное сокращение (редукция) среднего значения спина в упорядоченном состоянии или же возникают новые состояния с сильными спиновыми корреляциями (спиновая жидкость) вместо обычного дальнего магнитного порядка. Физические свойства в этих состояниях проявляют новые особенности, которые пока еще далеки от полного понимания, поэтому их изучение представляет большой интерес и весьма актуально. Одним из таких объектов является квазиодномерный антиферромагнетик  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ , представляющий уникальную модельную систему для цепочек спинов  $\frac{1}{2}$ , характеризующуюся очень высокой степенью одномерности, изучению, которого посвящена работа Сергейчевой Е. Г. Её актуальность не вызывает сомнений, Автору удалось продемонстрировать высокую эффективность используемых магнито-резонансных и ультразвуковых методов исследования и получить важную информацию об особенностях спиновых возбуждений, магнитных взаимодействиях и фазовых диаграмм, а также роли дефектов в этих низкоразмерных модельных антиферромагнетиках, которые существенно углубляют понимание физики этих систем.

Структура диссертации. Диссертация Сергейчевой Е. Г. представляет собой цельное исследование на 103 страницах, включающее в себя введение, четыре главы и заключение. Во введении содержится формальная часть, включающая в себя актуальность, значимость и апробацию изложенных трудов.

В первой главе представлены основные сведения об особенностях спиновых возбуждений и магнитной структуре одномерных магнитных системах и дан обзор работ по  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ , описывается его кристаллическая структура и известные магнитные свойства., которые свидетельствует о хорошем знании диссертантом предмета исследований.

Во второй главе приведено описание методики магниторезонансных экспериментов и основные результаты для двух образцов  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ .

Третья глава посвящена исследованиям магнитной фазовой диаграммы  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  с помощью ультразвука, включающего температурные и полевые измерения скорости звука и затухания, которые оказались весьма чувствительными для выявления фазовых переходов и построения Н-Т фазовых диаграмм.

Четвертая глава посвящена магниторезонансным исследованиям в изначально слабо допированном кислородом образце  $\text{Sr}_2\text{CuO}_{3+\delta}$ , который при последующей потере кислорода обладает существенно меньшим количеством дефектов, связанных с кислородными вакансиями, и не проявляет дополнительных магниторезонансных мод, обнаруженных в первых двух образцах. В этой главе дается общий сравнительный анализ результатов по всем образцам и их качественная интерпретация

**Научная новизна и достоверность изучаемых положений.**

В диссертационной работе Сергейчевой Е. Г. на примере квазиодномерного антиферромагнетика  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ , получены новые экспериментальные результаты, важные для развития физики одномерных магнитных систем.

Диссертантом впервые получены низкоэнергетические спектры магнитного резонанса  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ , как в упорядоченном, так и спин-жидкостной состояниях. Им показано, что в спин-жидкостной фазе спектры магнитного резонанса хорошо соответствуют почти изотропной гейзенберговской спиновой цепочки, анализ которых позволил оценить также величины слабой анизотропии системы, а также подтвердить хорошее качество исследуемых образцов и определить концентрации дефектов, которая не превышает 0.1%.

Очень интересным и неожиданным результатом является обнаружение в упорядоченной фазе, помимо двух ожидаемых мод антиферромагнитного резонанса, мод нового типа, существование которых трудно объяснить в рамках традиционных представлений об упорядочении двухподрешеточного антиферромагнетика. При этом одна из новых мод в поле  $H \parallel c$  ( $\sim 9$  Тл) проявляла смягчение и критическое поведение, что позволило автору предположить наличие нового фазового перехода.

Этот вывод подтвердили высокочувствительные ультразвуковые исследования диссертанта, с помощью которых были получены Н-Т фазовые диаграммы  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$  при  $H \parallel b$  и  $H \parallel c$ , индуцирующие новую фазу, предположительно, в виде продольной полю волны спиновой плотности. Происхождение новых мод и вызванных ими особенностей автор связывает с взаимодействием основной системы с дефектами типа концов

одномерных спиновых цепочек. Роль этого механизма достаточно убедительно подтвердили магниторезонансные исследования образца  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3+\delta$ , выращенного при избыточном умеренном давлении кислорода и обладающего существенно меньшим количеством дефектов, что проявилось в отсутствии в нем новых магниторезонансных мод.

Следует отметить хорошую внутреннюю согласованность результатов, полученных на разных образцах и в целом высокий экспериментальный уровень проведенных исследований и весьма глубокий анализ полученных данных с использованием современных представлений об одномерных магнетиках. Все это определяет высокую надежность и достоверность полученных результатов.

#### **Научная и практическая значимость работы.**

Результаты и выводы диссертационной работы Сергейчевой Е. Г. могут быть использованы в ведущих научных центрах России, где ведутся исследования в области физики низкоразмерных систем, таких как ИФП им. П. Л. Капицы РАН, ИФТТ РАН, ИТФ им. Л. Д. Ландау, ИОФ РАН, ФИ РАН, КФТИ РАН, МГУ, Санкт-Петербургский государственный университет и др.

#### **Вопросы и замечания.**

1) Для более глубокого понимания роли дефектов следовало бы провести ультразвуковые исследования изначально слабо допированном кислородом образце  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3+\delta$ , содержащих по представлениям диссертанта существенно меньшего количества дефектов. Это позволило бы дополнительно прояснить механизм новых индуцированных полем переходов.

2) Было бы очень интересно изучить температурную зависимость и условия возбуждения щелевой моды на 140 ГГц для выявления свойств новых мод в  $\text{Sr}_2\text{CuO}_3$ , которые связываются с взаимодействием основной системы с дефектами типа концов одномерных спиновых цепочек.

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку работы, работа выполнена на достойном научном уровне. Научные положения диссертации обоснованы, результаты опубликованы в ведущем научном журнале *Physical Review B* (2 статьи) и доложены на российских и международных конференциях.

Диссертационная работа Сергейчевой Е. Г. является законченным научным исследованием, содержащим принципиально важные новые результаты в

области низкоразмерных магнетиков. Диссертация удовлетворяет всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям физико-математического профиля, Сергейчева Е. Г. безусловно заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10 — физика низких температур.

Кандидат физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, ИОФ РАН

Мухин А. А.  
10 сентября 2021

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38, ИОФ им. А. М. Прохорова РАН  
телефон: +74995038777 (доб. 1-75), +7916-018-31-70 (моб.), e-mail: [mukhin@ran.gpi.ru](mailto:mukhin@ran.gpi.ru)

Подпись Мухина А.А. удостоверяю

Зам. директора ИОФ РАН по научной работе,  
ВРИО ученого секретаря ИОФ РАН, д.ф.-м.н



Глушков В.В