

ОТЗЫВ

Официального оппонента Гишиуса Андрея Андреевича на диссертационную работу Садькова Алмаза Фаритовича «**Магнитные структуры низкоразмерных соединений LiCu_2O_2 и NaCu_2O_2** », представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Диссертационная работа посвящена изучению свойств магнитной и электронной подсистем одинаковых по структурному типу соединений LiCu_2O_2 и NaCu_2O_2 методами ядерного магнитного и квадрупольного резонансов. Диссертант в своей работе решает, главным образом, частную актуальную задачу конкретизации типа магнитного упорядочения в представителях обширного класса низкоразмерных магнетиков с неоднородным распределением магнитного порядка. Полученные результаты автор рассматривает в применении к более общей актуальной проблеме взаимосвязи электрических и магнитных явлений в веществах с магнитоиндуцированной электрической поляризацией. Такое рассмотрение обусловлено неоднозначностью выбора механизмов, объясняющих наблюдаемые мультиферроидные свойства LiCu_2O_2 и отсутствие таковых у NaCu_2O_2 . Магнитоэлектрические материалы, в частности мультиферроики, открывают широкие перспективы приложений в области микроэлектроники и эффективной энергетики. Физика электромагнитных явлений в таких веществах активно развивается в наши дни.

Диссертация представляет собой традиционно построенный и вполне законченный научный труд, состоящий из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и цитируемой литературы.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы исследования, четко формулируются цели и задачи, указываются личный вклад автора, научная и практическая значимость.

В первой главе описываются и анализируются имеющиеся в литературе сведения об электронных и магнитных свойствах рассматриваемых в работе объектов. Акцентируется внимание на наличествующие успехи и проблемы дифракционных и магниторезонансных методов в решение вопроса установления типа магнитного упорядочения. В этой же главе в сравнительной форме представлены современные теоретические модели сегнетомагнетизма в спиральных магнетиках.

Во второй главе предоставляются сведения о синтезе образцов, их характеристике, а также об использовавшемся экспериментальном оборудовании и методах исследования. В этой же главе представлены температурные зависимости магнитной восприимчивости, используемые в главе 4.

В третьей главе изложены стандартные и представляющие определенный методический интерес схемы расчетов частот резонансных линий и их интенсивностей.

Наличие же компьютерной программы «Simul», в которой реализованы эти схемы, её усовершенствование автором для моделирования сложных экспериментальных спектров ЯМР несомненно расширяют возможности исследовательской группы и повышает её научную конкурентоспособность. Возможности и интерфейс этой программы, модель распределения магнитных моментов, используемая для симуляции полученных в магнитоупорядоченной фазе ЯМР спектров, также описаны в главе 3.

Четвертая глава посвящена выявлению характерных черт электронной подсистемы исследуемых купратов в парамагнитной области. Использование ЯМР спектров позволило определить параметры градиента электрического поля на всех ядрах-зондах ионов Cu^+ , Li^+ и Na^+ . Знание этих параметров на ядрах немагнитной меди является новым результатом. Отмечу, что выяснение параметров ГЭП являлось логичным и необходимым для исследования температурных зависимостей магнитных сдвигов и скоростей спин-решеточной релаксации. Регистрация и анализ этих зависимостей, по моему мнению, проведены успешно. Автору удалось выделить основные вклады в сдвиги линии ЯМР и магнитную восприимчивость, оценить дипольные и наведенные сверхтонкие поля на ядрах-зондах от отдельных магнитоактивных ближайших соседей. Экспериментальное обнаружение ненулевой дырочной заселенности меди $\text{Cu}^{+(1+\delta)}$ с $\delta = 0.2$ является весомым результатом, а предположение о возможной роли таких ионов в обменно-индуцированном механизме возникновения спонтанной поляризации является новым. Данный результат можно рассматривать как практически важный для развития микроскопических теорий сегнетомагнетизма. Заслуживающим внимания является информация об электронных корреляциях в этих магнетиках с пониженной размерностью. Экспериментально наблюдаемый отличительный характер анизотропии скорости спин-решеточный, а, следовательно, и спиновых флуктуаций, в LiCu_2O_2 и NaCu_2O_2 является весьма интересным фактом. Здесь же отмечу, что ЯМР эксперименты в парамагнитной фазе являлись последовательным этапом исследований: наличие сведений о константах сверхтонких взаимодействий являлось необходимым условием для достоверных выводов о типе основного магнитного состояния.

В пятой главе представлены спектры ядерного и квадрупольного резонансов в магнитоупорядоченной фазе. Детальный анализ этих спектров позволил сделать автору, как я считаю, один из важнейших выводов: в случае несоизмеримой магнитной структуры с плоскостной поляризацией магнитных моментов, плоскость этой поляризации не совпадает ни с одной из кристаллографических плоскостей. Этот качественный вывод напрямую вытекает из полученных автором экспериментальных данных. Количественные оценки, полученные диссертантом с привлечением компьютерного моделирования, несомненно также являются важными. Установлены углы, задающие ориентацию плоскостей упорядочения магнитных моментов по отношению к кристаллографическим осям, подтверждено различное направление закручивания спиновых спиралей. На основе полученного пространственного распределения магнитных моментов автор также провел качественную верификацию теоретических моделей сегнетомагнетизма в спиральных

магнетиках.

Полученные в диссертационной работе результаты представляются достоверными, а основные выводы – научно обоснованными. Эксперименты выполнены в исследовательской группе, имеющей большой опыт в области сильно коррелированных систем с использованием хорошего экспериментального оборудования. Используемые образцы были синтезированы и надежно аттестованы также известными группами. Воспроизводимость ЯМР спектров продемонстрирована на разных образцах, что также аргументирует достоверность полученных результатов. Выводы не противоречат физическим основам и имеющимся литературным данным. Я также соглашусь с автором, что «благодаря совместному и самосогласованному анализу данных, полученных от всех исследуемых ядер-зондов, значительно уменьшается неоднозначность интерпретации результатов ЯМР измерений».

С практической точки зрения результаты представляют интерес в области магнитоэлектрических взаимодействий в низкоразмерных магнетиках с модулированными магнитными структурами, механизмов образования в них электрической поляризации.

Работу отличает внутреннее единство, обоснованность выводов. Результаты соответствуют заявленным целям и задачам, а тема – специальности «физика магнитных явлений». Автореферат вполне отражает содержание и основные научные положения работы.

Замечания по диссертационной работе:

1. В Главе 4 при анализе спин-решеточной релаксации не приведены характерные кривые восстановления намагниченности, что не позволяет судить о качестве их соответствия формулам (2.3) и (2.4).
2. На многих рисунках (например, Рис.4.5-4.8, 4.10) не приведены погрешности определения отображаемых величин.
3. Не обсуждается возможное влияние довольно большого внешнего поля 9.8 Т на анизотропию спектров магнитных флуктуаций.
4. На Рис. 4.4 представлены спектры ЯКР ядер $^{63,65}\text{Cu}$. В случае NaCu_2O_2 обе линии спектра слегка расщеплены. В тексте диссертации не пояснено, с чем связано данное расщепление.
5. Не комментируется наличие дополнительных плечей на спектрах ^7Li при $H_0 \parallel b$ и $H_0 \parallel c$ (Рис. 5.2).
6. Указанная в Таблицах 5.1-5.2 точность определения углов пространственной ориентации геликсов в LiCu_2O_2 и NaCu_2O_2 (1 градус, в редких случаях 2 градуса) представляется необоснованно высокой при лишь качественном согласии теоретической симуляции, включающей несколько неортогональных подгоночных параметров, с экспериментальными спектрами сложной формы. В случае спектров $^{63,65}\text{Cu}$ это согласие имеет, в лучшем случае, удовлетворительный характер (см. Рис.5.5 и 5.6).

7. Использование в тексте понятий константа сверхтонкого взаимодействия (СТВ) и сверхтонкое поле как равнозначных и обозначение их одной и той же буквой «Н», даже с оговорками, сделанными в тексте работы, на мой взгляд, является не совсем корректным. Обычно, константа СТВ обозначается буквой «А», чтобы не было путаницы с полем «Н».

Заключение.

Считаю, что представленные в отзыве замечания не критичны в отношении основных выводов и не умаляют достоинств диссертации. Результаты работы не заимствованы, обоснованы и несут в себе новые знания. Работа выполнена в соответствии с требованиями Положения ВАК «О присуждении ученых степеней», а ее автор Садыков Алмаз Фаритович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 - физика магнитных явлений.

Профессор кафедры физики низких температур
и сверхпроводимости Физического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук

А.А. Гишпиус

«15» апр 2018г

Почтовый адрес: 119991 Москва,
Ленинские горы д.1, стр.2.
Тел.: 495-9392085
E-mail: gippius@mail.ru

Декан Физического факультета
МГУ им. М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук
профессор

С одобрением однакоплен
17.01.2018

1 Садыков А.Ф. /



2018г

Сведения об официальном оппоненте:

ФИО: Гиппиус Андрей Андреевич

Ученая степень, звание: доктор физико-математических наук, специальность 01.04.09 – физика низких температур, доцент

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Должность: Профессор кафедры физики низких температур и сверхпроводимости Физического факультета

Почтовый адрес: 119991 Москва, Ленинские горы д.1, стр.2.

Тел.: 495-9392085

E-mail: gippius@mail.ru

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация:

1. Gippius A.A., Morozova E.N., Moskvin A.S., Zalessky A.V., Bush A.A., Baenitz M., Rosner H, and Drechsler S.-L. NMR and local-density-approximation evidence for spiral magnetic order in the chain cuprate LiCu_2O_2 . *Physical Review B* 70 (2004) 7002.
2. Drechsler S.-L., Richter J., Gippius A.A, Vasiliev A.N., Bush A.A., Moskvin A.S, Malek J., Protz Yu., Shnelle W., Rosner H., Helical and weak ferromagnetism in the edge-shared chain cuprate NaCu_2O_2 , *Europhysics Letters*, 73 (2006) 83.
3. Gippius A.A., Morozova E.N., Okhotnikov K.S., Moskvin A.S., Baenitz M. and Drechsler S., Comparative NMR study of incommensurate helix magnetic order in quasi-1D chain cuprates LiCu_2O_2 and NaCu_2O_2 , *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 316 (2007) 298-301.
4. A.A. Gippius, A.S. Moskvin, S.-L. Drechsler, "Spin polarization of the magnetic spiral in NaCu_2O_2 as seen by nuclear magnetic resonance spectroscopy", *Physical Review B*, v.77 (2008) p. 180403(R).
5. A.A. Gippius, N.E. Gervits, A.V. Tkachev, I.S. Maslova, O.S. Volkova, A.N. Vasiliev, N. Buttgen, W. Kraetschmer, A.S. Moskvin, "Low-spin $S=1/2$ ground state of the Cu

trimers in the paper-chain compound $\text{Ba}_3\text{Cu}_3\text{In}_4\text{O}_{12}$ ", *Physical Review B*, v. 86 (2012) p. 155114-155114.

6. Bush A.A., Buettgen N., **Gippius A.A.**, Glazkov V.N., Kraetschmer W., Prozorova L.A., Svistov L.E., Vasiliev A.M. and Zheludev A., "Magnetic structure of the frustrated $S = 1/2$ chain magnet LiCu_2O_2 doped with nonmagnetic Zn", *Physical Review B*, v.88 (2013) 104411(1 -9).

Ученый секретарь
Физического факультета МГУ,
доктор физико-математических наук,
профессор



В.А. Карavaев