

**ОТЗЫВ официального оппонента  
на диссертацию на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук Кошелева Анатолия  
Владимировича**

**на тему: «Квантовые основные состояния в синтетических аналогах  
низкоразмерных медь-содержащих минералов»**

**по специальности 1.3.10. физика низких температур**

Диссертационная работа Кошелева Анатолия Владимировича посвящена исследованию термодинамических свойств магнитных минералов урусовита  $\text{CuAl}(\text{AsO}_4)\text{O}$ , шаттукита  $\text{Cu}_5(\text{OH})_2(\text{SiO}_3)_4$  и говардэванситов  $\text{AMCuFe}_2(\text{VO}_4)_3$  ( $\text{AM}=\text{Li,Na}$ ). Магнитная подсистема исследованных минералов представлена одномерными магнитными цепочками и двумерными магнитными слоями на основе иона меди  $\text{Cu}^{2+}$ . Такие низкоразмерные спиновые системы интересны с точки зрения реализации экзотических квантовых основных состояний при низких температурах. Примерами являются реализация квантового основного состояния кристалла на валентных связях в клиноклазе  $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)(\text{OH})_3$  или длиннопериодная магнитная структура в толбачите  $\text{CuCl}_2$ .

В рамках диссертационной работы автором исследовались базовые термодинамические свойства образцов, такие как намагниченность, теплоёмкость и диэлектрическая проницаемость в широком интервале температур и магнитных полей. Термодинамические данные дополнялись исследованием спектральных свойств образцов и теоретическими расчётами параметров магнитных подсистем, выполненными соавторами. Автором диссертации был проведён корректный анализ полученных экспериментальных данных и предложены модели квантовых основных состояний, реализованных в исследованных минералах.

Актуальность исследования магнитных минералов обусловлена большим разнообразием реализуемых спиновых низкоразмерных структур и химической стабильностью образцов.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 86 страниц, 62 рисунка, 1 таблицу, а также библиографию из 60 наименований.

В первой главе приводится краткий обзор основных моделей низкоразмерного магнетизма с примерами реализации этих моделей в магнитных минералах.

Во второй главе описываются синтез и структура исследованных образцов, а также проверка химической чистоты образцов. Описываются основные использованные экспериментальные методики.

Главы с третьей по пятую содержат экспериментальные данные, полученные в рамках данной работы.

В третьей главе приведены результаты исследования магнитной и упругой подсистем гюверданситов  $AMCuFe_2(VO_4)_3$  ( $AM=Li,Na$ ).

Четвертая глава посвящена исследованию магнитных, тепловых и спектральных свойств минерала урусовита  $CuAl(AsO_4)O$ .

В пятой главе исследуется низкоразмерный ферримагнетик шаттукит  $Cu_5(OH)_2(SiO_3)_4$ .

В заключении сформулированы результаты и вывод работы.

На защиту вынесено четыре защищаемых положения, все выводы хорошо обоснованы, в работе получен ряд новых результатов, например:

- 1) Установлено формирование магнитоупорядоченного состояния в  $LiCuFe_2(VO_4)_3$  при температурах  $T_{N1}=8.4K$  и  $T_{N2}=9.4K$ . Обнаружен магнитоэлектрический эффект в температурном интервале  $T_{N1}<T<T_{N2}$ .
- 2) Установлено формирование спин-стекольного основного состояния при  $T_{SG}=8K$  для  $NaCuFe_2(VO_4)_3$ .

3) ) Установлено отсутствие магнитного упорядочения в  $\text{CuAl}(\text{AsO}_4)\text{O}$  вплоть до температуры 2 К, магнитная подсистема состоит из слабо взаимодействующих димеров с величиной спиновой щели  $\Delta=350\text{К}$ .

4) Установлено формирование ферромагнитного основного состояния при  $T_N=8\text{К}$  в  $\text{Cu}_5(\text{OH})_2(\text{SiO}_3)_4$ .

Результаты являются значимыми для дальнейшего изучения параметров квантового основного состояния магнитных минералов и важны для перспектив их практического применения. Результаты являются новыми. Результаты, представленные в диссертации, доложены и обсуждены на международных и российских конференциях, а также опубликованы в 4 статьях в высокорейтинговых научных журналах. Автореферат и публикации отражают содержание диссертации и соответствуют специальности 1.3.10 – физика низких температур, а именно следующим её направлениям: 1) квантовые жидкости и кристаллы, 5) низкотемпературный магнетизм: магнитные структуры, фазовые переходы, магнитный резонанс.

Достоверность результатов подтверждается использованием новейшего оборудования для проведения экспериментов, высокой химической чистотой исследованных образцов, воспроизводимостью результатов при повторных измерениях, согласием результатов измерений термодинамических и спектральных свойств, полученных в соавторстве, а также согласием экспериментальных данных с теоретическими расчётами.

### **Вопросы и замечания:**

В целом, полученные соискателем интересные результаты не вызывают сомнений. В тоже время налицо их недостаточное осмысление. Приведу два примера.

1) В гл.4 при измерениях температурной зависимости теплоемкости и ее описании в модели Эйнштейна сделан вывод о формировании дополнительных вкладов в теплоемкость от локальных колебаний внутри

пирамид  $\text{CuO}_5$ , тетраэдров  $\text{AsO}_4$ ,  $\text{AlO}_4$ . Мне представляется, что расчет энергий таких колебаний, достаточно простой на современном уровне, позволил бы проверить и усилить данный вывод.

2) на стр.68-69 сказано, что обменные взаимодействия внутри димеров J1 аномально сильно растут при нагревании, от 350К до 535К. Это очень существенный рост и интересный результат данной работы. Увы, он оставлен без всякого обсуждения.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.10. физика низких температур (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Кошелев Анатолий Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.10. физика низких температур.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,  
Профессор, заслуженный деятель науки России, Научный руководитель по направлению «Магнетизм» и заведующий лабораторией физики магнитных явлений

Институт физики им. Л.В.Киренского - обособленное подразделение  
Федерального исследовательского центра «Красноярский Научный Центр СО  
РАН»

Овчинников Сергей Геннадьевич

12.12.2024

Контактные данные:

тел.: +7 (391)2432906, e-mail: sgo@iph.krasn.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом  
защищена диссертация:

01.04.07 физика твердого тела

Адрес места работы:

660036, Красноярск, Академгородок, зд.50 к.38

Тел.: +7 (391)2432906; e-mail: sgo@iph.krasn.ru

Подпись сотрудника .. *Овчинникова С.Г.*

удостоверяю:

*директор Института  
Физики им. Л.В.Киренского  
ФИЦ КНЦ СО РАН*



*Баняев Д.А.*