

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Савіної Юлії Олександрівни
«Магнітні, теплові та резонансні властивості квазіодновимірного
гейзенбергівського магнетика $\beta\text{-TeVO}_4$ »,
яка подана на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних
наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм

Актуальність теми. Дисертаційна робота Савіної Юлії Олександрівни присвячена встановленню особливостей теплових та резонансних властивостей квазіодновимірного фрустрованого магнетика $\beta\text{-TeVO}_4$, а також аналізу магнітних станів у даному матеріалі.

Низьковимірні магнетики привертають підвищенню увагу через яскраву прояву квантових ефектів при досить високих температурах. В ідеальному одновимірному гейзенбергівському ланцюжку магнітний фазовий перехід неможливий при будь-якому значенні параметру ізотропної обмінного взаємодії між спінами. Але у реальних низьковимірних магнетиках присутність слабких міжланцюжкових взаємодій приводить до встановлення дальнього магнітного впорядкування. Яке саме впорядкування буде спостерігатися при низьких температурах, залежить від величини спін-спінової і спін - фононної взаємодії як усередині ланцюжків, так і між ними. Наявність фruстрації або конкуренції взаємодій значно ускладнює досягнення основного квантового стану і урізноманітнює магнітну фазову діаграму. Основний стан фрустрованого квазіодновимірного магнетика може значно відрізнятися від стандартних уявлень про магнітний порядок феро-, фері- або антиферомагнітного типу. В такому магнетику можуть виникати складні модульовані магнітні структури з періодом, що не є співрозмірним з періодом кристалічної гратки.

Проведені дослідження представляють значний інтерес як з фундаментальної точки зору так і з точки зору практичного застосування, оскільки розглянуті системи є близькими до високотемпературних надпровідних систем та молекулярних провідників і можуть використовуватися в пристроях спінtronіки та магноніки. Тому представлена робота є безумовно актуальною.

Наукова новизна отриманих результатів. Робота присвячена експериментальному дослідженю фізичних властивостей квазіодновимірних магнетиків, а саме встановленню впливу конкуруючих обмінних взаємодій на формування основного стану низьковимірної магнітної системи $\beta\text{-TeVO}_4$, а також його магнітних, магніторезонансних та теплових властивостей.

Серед оригінальних результатів роботи слід відзначити:

Встановлено, що сполука $\beta\text{-TeVO}_4$ є одновимірним магнетиком, що складається з ланцюжків іонів ванадію V^{4+} ($S = \frac{1}{2}$). Доведено, що

міжланцюжковий обмін, на два порядки менший за внутрішньоланцюжкові взаємодії.

Вперше встановлено, що ця система є фрустрованою спіновою системою із конкурючими феромагнітним та антиферомагнітним обмінами. Показано наявність гелікоїального магнітного порядку при низьких температурах. Показано, що магнітні та теплові властивості таких систем досить добре описуються в рамках J_1 - J_2 моделі з двома конкурючими різномірними обмінними взаємодіями в спіновому ланцюжку.

Вперше виявлено та експериментально досліджено низькотемпературні магнітні фазові переходи між різними станами спін-модульованої магнітної структури β -TeVO₄ та побудовано його фазову H - T діаграму.

Практичне значення одержаних результатів. Фрустровані системи, до яких відноситься і досліджуваний матеріал, зараз широко використовуються в якості елементної бази спінtronіки. Одне із основних практичних значень роботи полягає в успішній побудові мікрокопічних моделей для опису фізичних властивостей реальних квазіодновимірних систем, що дозволяє передбачити напрямок зміни магнітних параметрів, цілеспрямовано керувати ними і магнітними властивостями матеріалів під дією різного виду зовнішніх чинників.

Результати досліджень, які представлені в дисертаційній роботі, доповнюють і розширяють існуючі уявлення про фізичні властивості квазіодновимірних магнетиків. Результати роботи сприятимуть розвитку теорії та побудові нових мікрокопічних моделей для опису фізичних властивостей квазіодновимірних магнетиків. Отримані результати щодо магніторезонансних та теплових властивостей, характеру взаємодій і особливостей основного стану в магнетику β -TeVO₄ допоможуть зрозуміти особливості магнітних властивостей низьковимірних магнетиків.

Обґрунтованість та достовірність результатів дисертації досягалась адекватним вибором експериментальних методик та теоретичних моделей. Для забезпечення достовірності зроблених висновків проводилось порівняння даних, отриманих за допомогою кількох різних незалежних методик. Результати аналізу перевірялися шляхом порівняння з існуючими в літературі експериментальними та теоретичними даними.

Повнота викладу матеріалу в опублікованих працях. Дисертація є завершеною працею. Представлена на захист дисертація пройшла апробацію на 14 міжнародних та всеукраїнських фахових конференціях. За матеріалами роботи опубліковано 5 статей у провідних фахових наукових журналах, у тому числі *Physical Review B* та *Low Temperature Physics*, що говорить про високий рівень отриманих результатів. Автореферат відповідає змісту дисертації.

Дисертаційна робота Ю. О. Савіної складається із анотацій, вступу, оглядового розділу, розділу з методикою експериментальних досліджень, чотирьох оригінальних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. У **першому** розділі наведено літературні дані з описом різних

теоретичних одновимірних моделей, що враховують різний характер обмінного зв'язку та неоднорідність обмінної взаємодії. Розглянуто магнітну фазову діаграму та можливі основні стани фрустрованих магнетиків. У **другому** розділі приведено опис експериментальних методик, що використовувалися в дослідженнях, методика синтезу та структура дослідженого кристалу. У **третьому** розділі представлено та докладно описано результати досліджень магнітних властивостей β -TeVO₄, їх опис у рамках декількох теоретичних моделей та порівняння отриманих результатів. **Четвертий** розділ присвячено дослідженню питомої теплоємності монокристалу β -TeVO₄ в широкому температурному діапазоні 0,05-300 К та нульовому магнітному полі. В **п'ятому** розділі методом електронного парамагнітного резонансу отримано інформацію про резонансні властивості β -TeVO₄, проаналізовані кутові та температурні залежності спектроскопічних параметрів ліній поглинання, та встановлено анізотропію g-фактору іонів V⁴⁺ ($S=1/2$). **Шостий** розділ містить результати досліджень поведінки фазових перетворень, що спостерігаються в β -TeVO₄, під впливом магнітного поля. Представлена фазова Н-Т діаграма та проведено аналіз існуючих магнітних станів в рамках J₁-J₂ моделі з двома конкурючими різномірними обмінними взаємодіями в спіновому ланцюжку.

Список використаних джерел повністю відображає володіння дисертантою інформації по вибраному напрямку своєї роботи. Всі розділи дисертації логічно пов'язані між собою.

Зauważення по дисертаційній роботі.

1. В дисертації не наведено дані щодо шляхів суперобміну між іонами ванадію в досліджуваній системі. Тому досить складно уявити собі, чому розглянута система може бути описана за допомогою J₁-J₂ моделі. З наведеної в дисертації структури більш вірогідним виглядає застосування моделі спінових шаблів (spin ladder) або двовимірного магнетика, що складається з одновимірних ланцюжків.

2. Теоретичний опис експериментальних даних щодо магнітної сприйнятливості отримано з використанням g-фактору, що суттєво перевищує 2. Це є досить нетиповим для іонів ванадію V⁴⁺, де зазвичай g-фактор менший за 2 (що підтверджують і дані ЕПР).

3. З наведених спектрів електронного парамагнітного резонансу досить важко зрозуміти, яким чином визначався g-фактор для лінії II, оскільки навіть значна варіація параметрів майже не змінює опис експериментальної залежності спектру ЕПР.

4. Наявність лінії I в спектрі ЕПР було пояснено за рахунок наявності мономірних домішок. Наявність таких домішок (навіть 0,1%) має суттєво змінити низькотемпературну поведінку магнітної сприйнятливості і, з моєї точки зору, це необхідно враховувати при аналізі магнітних даних.

Зазначені вище зауваження не впливають на достовірність наукових положень і загальну позитивну оцінку представленої до захисту дисертаційної роботи, і, в значній мірі, можуть розглядатися як побажання для майбутньої роботи.

Висновок. Дисертація Савіної Ю. О. є завершеною науковою працею, в якій вирішено важливу задачу в області фізики магнетизму: виявлено магнітні фазові перетворення та встановлено особливості теплових та резонансних властивостей квазіодновимірного фрустрованого магнетика β -TeVO₄. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною та практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота Савіної Ю. О. «Магнітні, теплові та резонансні властивості квазіодновимірного гейзенбергівського магнетика β -TeVO₄» задовільняє всім вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів». Виходячи з усього викладеного вище, вважаю, що Савіна Юлія Олександрівна, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
завідувач відділу теорії магнітних явищ
та магнітної динаміки конденсованих
середовищ Інституту магнетизму
НАН України та МОН України

В. О. Голуб

Підпис В.О. Голуба засвідчує
Вчений секретар Інституту магнетизму
НАН України та МОН України,
кандидат фізико-математичних наук



А. О. Хребтов