

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

Кvantovі низьковимірні магнетики є лабораторією сучасної теоретичної фізики в якій відпрацьовуються моделі, що мають застосування від елементарних частинок – кварків до екзотичних надпровідників. Але теоретичні дослідження різномаїття квантovих моделей завжди випереджали їх експериментальні реалізації, просто за браком відповідних кристалічних зразків. Тому поява реальних магнітних об'єктів, що за структурою взаємодій є низьковимірними, завжди викликає бурхливий інтерес у вигляді нових експериментальних і теоретичних досліджень. А сама можливість експериментальної перевірки теорії є і завжди буде **актуальним** дослідженням. Саме такий об'єкт – квазіодновимірний магнетик $\beta\text{-TeVO}_4$, що демонструє унікальне співвідношення обмінів перших та других сусідів та надзвичайно багату фазову діаграму експериментально досліжується у дисертаційній роботі Ю.О. Савіної. В роботі вперше всебічно розглянуто вплив топології та фрустрації обмінних взаємодій на магнітні, резонансні та теплові властивості цього кристалу.

Дослідження, які лягли в основу роботи Савіної Ю.О., виконані в рамках тематичного плану ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України за відомчими тематиками «Низькотемпературні властивості мультифероїків та структурованих і металоорганічних магнетиків» (номер державної реєстрації 0107U000940, термін виконання 2007-2011 рр.), «Низькотемпературні магнітні та оптичні властивості фероїків» (номер державної реєстрації 0112U002636, термін виконання 2012-2016 рр.), «Фізичні властивості магнетоконцентрованих сполук і штучних структур з конкурючими взаємодіями» (номер державної реєстрації 0117U002288, термін виконання 2017-2021 рр.), а також були підтримані в рамках наукових проектів: «Взаємозв'язок магнітних і надпровідних станів у шаруватих сполуках, що містять іони магнітних перехідних і рідкісноземельних металів» (спільний конкурс НАН України – РФФД, номер державної реєстрації 00112U003553, термін виконання 2012-2013 рр.), «Низькотемпературні особливості магнітних, теплових та оптичних властивостей низьковимірних магнетиків зі складною обмінною топологією та фрустраціями» (спільний конкурс НАН України та Польської АН, термін виконання 2012-2014 рр.).

«Магнітні, теплові та оптичні властивості боратів, що містять іони перехідних та рідкісноземельних металів» (спільний конкурс НАН України та Польської АН, термін виконання 2015-2017 рр.), що додатково підтверджує актуальність теми дисертації.

Відповідність досліджень дисертаційної роботи Ю.О. Савіної за спеціальності 01.04.11 – «магнетизм» не викликає сумнівів, оскільки предметом дослідження є, в першу чергу, процеси взаємодії між магнітними іонами V^{4+} ($S=1/2$) в зигзагоподібному спіновому ланцюжку квазіодновимірної системи $\beta\text{-TeVO}_4$.

Мета дисертаційної роботі полягає у виявленні магнітних фазових перетворень та встановленні особливостей теплових та резонансних властивостей у квазіодновимірному фрустрованому магнетику $\beta\text{-TeVO}_4$. Розв'язання задач дисертаційної роботи було можливо завдяки використанню декількох експериментальних методик. Дослідження температурних та польових залежностей магнітного моменту проводилося на високочутливому приладі СКВІД-магнітометрі, польові залежності намагніченості досліджувалися на магнітометрі імпульсних магнітних полів. Методом калориметрії вивчалися теплові характеристики $\beta\text{-TeVO}_4$. Метод електронного парамагнітного резонансу використовувався для встановлення особливостей ЕПР спектру та отримання ефективних параметрів. Метод чисельного моделювання використано для встановлення впливу фрустраційних обмінних взаємодій на магнітні та теплові властивості зигзагоподібного ланцюжка $\beta\text{-TeVO}_4$.

Дисертаційна робота Ю. О. Савіної складається з шістьох розділів. У першому розділі наведено огляд літературних джерел за темою дисертації, який включає опис різних теоретичних одновимірних моделей, що враховують ізотропний або анізотропний характер обмінного зв'язку, неоднорідність обмінної взаємодії, обмін між наступними за найближчими сусідами, що часто призводить до різних основних станів квантової системи. Розглянуто теорію міжланцюжкової взаємодії та магнітну фазову діаграму квазіодновимірних спінових систем. У другому розділі приведено експериментальні методики та опис структури дослідженого кристалу та методика його синтезу. У третьому розділі представлено та докладно описано результати експериментальних досліджень $\beta\text{-TeVO}_4$ в температурному діапазоні від 1,9 К до 400 К в стаціонарних магнітних полях до 5 Тл та імпульсних магнітних полях до 30 Тл. В четвертому розділі наведено дослідження теплових властивостей (питомої теплоємності) монокристалу $\beta\text{-TeVO}_4$ в широкому температурному діапазоні 0,05-300 К. Крім того, приділено значну увагу дослідженю природи низькотемпературних фазових перетворень. В п'ятому розділі описано результати

дослідження методом електронного парамагнітного резонансу, отримано інформацію про анізотропію g -тензора, проаналізовані кутові та температурні залежності спектроскопічних параметрів ліній поглинання іонів V^{4+} ($S=\frac{1}{2}$). В шостому розділі представлено результати впливу магнітного поля на фазові перетворення, що спостерігаються в $\beta\text{-TeVO}_4$; відбудована фазова H - T діаграма та проведено аналіз існуючих магнітних станів в рамках J_1 - J_2 моделі з двома конкуруючими різновимірними обмінними взаємодіями в спіновому ланцюжку.

Кожний розділ закінчується короткими висновками, які базуються на отриманих результатах. Список літературних джерел досить повно відображає інформаційний фундамент, на якому дисертація побудувала свою роботу.

Найбільш важливими **новими результатами** дисертації є наступні:

1. Встановлено, що сполука $\beta\text{-TeVO}_4$ є магнетиком зі слабко взаємодіючими зигзагоподібними ланцюжками іонів ванадію V^{4+} зі спіном $S=\frac{1}{2}$. Показано, що міжланцюжковий обмін, на два порядки менший за внутрішньоланцюжкові взаємодії, визначає сполуку $\beta\text{-TeVO}_4$ як квазіодновимірну спінову систему.

2. Вперше встановлено, що ланцюжки іонів ванадію з фрустрованою спіновою системою із феромагнітним обміном між найближчими сусідніми магнітними іонами $J_1/k_B = -38,33$ К та антиферомагнітним обміном між наступними за найближчими сусідніми магнітними іонами $J_2/k_B = 29,48$ К. Виявлено феромагнітні спін-спінові кореляції у високотемпературній області та встановлено існування гелікоїального магнітного порядку при низьких температурах, що зумовлено конкуренцією різновимірних обмінних взаємодій.

3. Вперше виявлено низькотемпературні магнітні фазові переходи у $\beta\text{-TeVO}_4$ між різними станами спін-модульованої магнітної структури. Встановлено лямбда-подібну аномалію на температурній залежності питомої теплоємності при $T_N = 4,65$ К, що свідчить про перехід другого роду у впорядковану фазу. Крім того, виявлено максимум теплоємності при $T^{II} = 3,18$ К, який не супроводжується температурним гістерезисом, що свідчить про існування магнітного фазового переходу другого роду. Знайдено аномальну поведінку теплоємності з температурним гістерезисом при $T^{III} = 2,26$ К, який вказує на магнітне фазове перетворення першого роду.

4. Вперше побудовано фазову H - T діаграму квазіодновимірного магнетика $\beta\text{-TeVO}_4$. Встановлено наявність трикритичної точки на фазовій діаграмі при $H \parallel b$, яка пов'язана з просторовою анізотропією хіральної фази. Особливості спін-модульованих фаз магнітовпорядкованого стану магнетика описано в рамках одновимірної J_1 - J_2 моделі з двома конкуруючими обмінними взаємодіями протилежного знаку у ланцюжку.

5. Вперше виявлено слабку аксіальну анізотропію магнітних та резонансних властивостей монокристалу $\beta\text{-TeVO}_4$ відносно осі b кристалу, яка зумовлена незначною анізотропією g -тензору спектроскопічного розщеплення іону ванадію.

Перелічені основні результати є новими, вперше отриманими в роботах автора. Результати досліджень, що викладені в дисертації, є обґрунтованими та достовірними, оскільки вони базуються на експериментах, які були виконані з використанням високоточних установок та методик. Вони мають чітку фізичну інтерпретацію і базуються на неодноразово перевірених результатах експериментальних досліджень різними методами. Результати дисертації було докладно і своєчасно викладено у 5 публікаціях у провідних спеціалізованих наукових журналах. Також основні результати роботи добре відомі, оскільки вони пройшли **апробацію** на великій кількості профільних наукових конференцій в Україні і за кордоном, тези доповідей було опубліковано у відповідних збірниках. окремо треба додати, що наявність складної фазової діаграми визвало велику зацікавленість у світового фізичного товариства у вигляді низки повторних досліджень, наприклад, методами нейтронної дифракції, ядерного магнітного резонансу та іншими. Ця додаткова аprobacія підтвердила головні висновки роботи щодо фазової діаграми $\beta\text{-TeVO}_4$.

Враховуючи вищесказане і беручи до уваги надійність та сучасний рівень експериментальної бази, а також сучасний методологічний рівень роботи, можна з упевненістю стверджувати, що отримані автором результати є **достовірними та обґрунтованими**.

Результати проведених досліджень можуть бути використані в наукових установах, де ведуться теоретичні та експериментальні дослідження низьковимірних магнітних систем, а саме: в Інституті фізики НАН України (м. Київ), Інституті магнетизму НАН України (м. Київ), Київському національному університеті ім. Т. Г. Шевченко (м. Київ), Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова (м. Київ), Донецькому фізико-технічному інституті ім. О. О. Галкіна НАН України (м. Київ), Харківському національному університеті ім. В. Н. Каразіна (м. Харків), Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Вєркіна НАН України (м. Харків).

Дисертація написана якісною мовою та належним чином оформлена. Текст автореферату повністю відображає зміст дисертації.

До змісту дисертації та її оформлення є такі **зауваження**:

1. В розділі 3.4.1. проведено моделювання магнітної сприйнятливості за допомогою моделі ланцюжка з антиферомагнітним обміном найближчих сусідів – моделі Боннер-Фішера. Але наявність спостереженої автором несумірності свідчить про існуочі в системі магнітні фрустрації. Тому використання такої моделі є недостатньо виправданим. Але цей недолік було виправлено у наступному розділі 3.4.2 із застосуванням більш реалістичної моделі з урахуванням наступного за найближчим обміном.

2. Низька симетрія та наявність несумірних фаз може індукувати електричний момент за рахунок магнітоелектричної взаємодії, але така можливість в роботі не розглянута.

Однак зазначені зауваження не носять принципового характеру і не впливають на загальну позитивну оцінку роботи.

Таким чином, дисертація Савіної Ю. О. є завершеною науковою працею, в якій отримано нові результати та вирішено важливу задачу в області фізики магнетизму: встановлено вплив фрустрації обмінних спін-спінових взаємодій на магнітні, резонансні та теплові властивості квазіодновимірного магнетика β -TeVO₄.

На основі викладеного вище вважаю, що дисертаційна робота Савіної Ю. О. «Магнітні, теплові та резонансні властивості квазіодновимірного гейзенбергівського магнетика β -TeVO₄» відповідає всім вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, зокрема пунктам 9, 11, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», а її автор, Савіна Юлія Олександрівна, безумовно заслуговує присудження наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.11 – магнетизм.

Офіційний опонент:

Доктор фізико-математичних наук, професор,
лауреат Державної премії України з науки і техніки
завідувач відділу теорії динамічних властивостей складних систем
Донецького фізико-технічного інституту
ім. О. О. Галкіна НАН України (м. Київ)

Ю. Г. Пашкевич



В. Ю. Дмитренко

Підпис Ю. Г. Пашкевича засвідчує:

Вчений секретар

Донецького фізико-технічного інституту
ім. О. О. Галкіна НАН України (м. Київ)

кандидат технічних наук

18.06.18 5