

## ВІДЗИВ

офіційного опонента про дисертацію Баліги Василя Ярославовича  
«Ефекти фрустрацій у квантових антиферомагнетиках Гайзенберга на двошарових гратках»,  
яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук  
зі спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика

Дисертаційна робота стосується дослідження особливостей в поведінці низьковимірних систем, зокрема, спін-½ антиферомагнетиків Гайзенберга, визначених на різних двошарових гратках, та 1D ферміонної моделі Тасакі, при врахуванні фрустрації в цих системах. Також детально вивчена поведінка цих систем в зовнішньому магнітному полі при низьких температурах. Приємно, що теоретичні моделі, що запропоновані та вивчені, застосовуються до реальних магнітних сполук. За низьковимірними структурами, якими є наномасштабні плівки, дроти та квантові точки, майбутнє, вони вже застосуються в різних пристроях та для обробки інформації. Але дати коректні розв'язки проблем, що виникають при розробці та використанні таких систем, можливо лише через виконання комплексного дослідження їх властивостей.

Що стосується дослідження низьковимірних систем, то вже накопичено достатньо багатий як теоретичний, так експериментальний матеріал і запропоновано корисні теоретичні моделі. Однак в роботі зроблено акцент на поведінку систем при фрустрації та в разі реалізації стану, що може описуватися плоскими зонами. В цьому разі треба застосовувати більш детальні підходи до вирішення цих проблем. Так стани, що описуються плоскими зонами, з одного боку, мають більш простий вигляд (бо відсутня дисперсія), однак, це є результат виродження стану системи з великою кратністю, що необхідно враховувати при розрахунках. Вплив фрустрації на властивості системи неможливо передбачити, його потрібно детально вивчати, так як має місце її нетривіальна поведінка.

У зв'язку з цим, дисертаційна робота пана В.Я.Баліги є актуальним у науковому аспекті і перспективним у практичному плані завданням в галузі фізики низьковимірних систем, як одно- так двовимірних (шарових в тому числі). Від результатів роботи пана В.Я.Баліги можна очікувати досягнення глибшого розуміння особливостей прояву фрустраційних ефектів, що мають місце у магнітних системах пониженої вимірності.

Розв'язання задач, поставлених у даній дисертаційній роботі, уможливило одержати наступні оригінальні (й цікаві з моєї точки зору) результати.

1. На основі отриманого координатного представлення для хвильової функції, одновимірна модель Тасакі-Габарда була розв'язана точно у випадку сильної взаємодії Габарда для плоскої електронної зони. Вивчені особливості поведінки отриманого парамагнетика в магнітному полі.
2. Запропоновано низькоенергетичний гамільтоніан, що описує термодинамічні властивості  $Ba_2CoSi_2O_6Cl_2$  в магнітному полі, результати збігаються з експериментальними даними.
3. В моделі граткового газу отримано ефективні гамільтоніани для різних граток, які описують стани локалізованих магніонів, проведені також чисельні розрахунки температурної залежності теплоємності, намагніченості в магнітному полі.

Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків і переліку використаних джерел.

У вступі висвітлено актуальність обраної теми, мету і завдання дисертаційної роботи, зазначено наукову новизну одержаних результатів, які винесено на захист, а також їх значимість, наведено відомості про апробацію результатів роботи, публікації здобувача та структуру дисертаційної роботи.

У першому розділі розглянуто точний розв'язок моделі Тасакі-Габарда в разі сильної взаємодії для електронних станів, що описуються плоскими зонами. Проаналізована поведінка системи при низьких магнітних полях та низьких температурах. Присмна несподіванка, що модель має точний розв'язок в разі сильної взаємодії. Це обумовлено тим, що хвильову функцію вдалось визначити у вузельному представлені тільки на кластері з трьох вузлів, тобто, вона локалізована в цьому кластері. Отримані результати заслуговують уваги.

До першого розділу принципових зауважень немас.

У другому розділі розраховано фазові діаграми антиферомагнетика Гайзенберга різної симетрії, визначеного на двох шарах. За допомогою варіаційного методу розраховуються фазові діаграми основного стану в нульовому магнітному полі. Метод розрахунків простий і невигадливий – варіаційний метод. Зауваження стосується як самого методу розрахунків, так і його застосування. При використанні варіаційного методу має місце неконтрольована похибка, котру треба оцінювати в кожному випадку. Автор не привів оцінки отриманих результатів, тому не ясно, з якою точністю вони отримані.

В третьому розділі роботи запропонована модель, чи точніше ефективний низькоенергетичний гамільтоніан, що описує поведінку сильно фрустрованого  $\text{Ba}_2\text{CoSi}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$  в сильному магнітному полі. Відповідність отриманих результатів з експериментальними даними приємно вражас. Тому зауважень до цього розділу не може бути.

У четвертому розділі досліджено низькотемпературні властивості квантової спінової шестикутної двошарової гратки в межах спін  $\frac{1}{2}$  моделі Гайзенберга. Автор використовує перетворення Голштейна-Примакова для спінових операторів  $\frac{1}{2}$ , яке, якщо й можливо використовувати, то для станів з великими спінами. Для спіна, що дорівнює  $\frac{1}{2}$ , неконтрольована похибка може бути значною. У випадку низьковимірної системи більш природно використовувати перетворення Йордана-Вігнера (через безспінові ферміони) чи Кітаєва (через Майорана ферміони). В другій половині цього розділу розглядається гамільтоніан граткового газу. Результати отримані при цьому контролюються чисельними розрахунками. Проведена кореляція отриманих результатів з експериментальними даними. Зауваження стосується якості розрахунку, який використовує перетворення Голштейна-Примакова для спіна  $\frac{1}{2}$  в низьковимірній системі.

Щодо п'ятого розділу, то розрахунки зроблені в тому ж ключі, що і в четвертому. Розрахована спінова трикутна двошарова гратка в магнітному полі та модель шестикутників Бекстера. В межах моделі граткового газу отримано ефективний гамільтоніан за наявності магнітного поля, отримані також чисельні розрахунки моделі. Зауваження стосується розрахунків, які використовують перетворення Голштейна-Примакова для спіна  $\frac{1}{2}$ .

Відгук на дисертаційну роботу — не місце для дрібних зауважень, тому не буду акцентувати увагу на несуттєвих недоліках. Зазначу, що всі зауваження, які наведено вище, мають скоріше характер

побажань щодо їх врахування при майбутньому розвитку обраного наукового напряму і не можуть знищити загальної великої високої оцінки дисертації.

Її автор одержав оригінальні і далеко нетривіальні наукові результати. Теоретичні моделі, які запропоновано в дисертаційній роботі пана В.Я.Баліги, теоретичні та чисельні розрахунки здаються мені цілком фізичними і забезпечують обґрунтованість сформульованих наукових положень і висновків. Одержані результати також підтримуються: аналізом експериментальних даних для споріднених систем: організацією спеціальних порівняльних чисельних розрахунків; кореляцією з результатами, отриманими іншими авторами для подібних систем.

Дисертацію побудовано логічно, написано науковою українською мовою і структуровано відповідно до вимог ДАК МОН України щодо оформлення дисертацій.

Основні результати дисертаційної роботи викладено, принаймні, в п'яти статтях у престижних фахових наукових періодичних виданнях, оприлюднено на декількох міжнародних конференціях.

Опубліковані за матеріалами дисертаційної роботи праці цілком і вірно відображають зміст і основні положення дисертації пана В.Я. Баліги. Це ж стосується і його автореферату.

Дисертаційна робота пана В.Я. Баліги являє собою самостійне, завершене в цілому (в межах поставленої задачі) кваліфікаційне дослідження особливостей в поведінці властивостей низьковимірних фрустрованих систем в зовнішніх магнітних полях та при низьких температурах.

За актуальністю теми, висотою наукового рівня, об'ємом, новизною і значенням одержаних результатів ця цікава дисертація задоволяє вимогам ДАК МОН України щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук із спеціальності 01.04.02 —теоретична фізика. Тому я вважаю, що її автор, пан Баліга Василь Ярославович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук.

м.Київ, 1 травня 2019 р.

д-р фіз.-мат. наук, старш. наук. співр.  
провід. наук. співр.

I.M. Карнаухов

Підпис I.M.Карнаухова засвідчує:  
Вчений секретар ІМФ НАН України  
канд.фіз.-мат.наук



Є.В.Кочелаб