

Затверджую

Директор Інституту фізики
конденсованих систем НАН України
д.ф.-м.н., проф., чл.-кор. НАН України
Т. М. Брик



2024 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 1252 фахового семінару

Інституту фізики конденсованих систем НАН України
від 27 червня 2024 р.

1. ПРИСУТНІ 45 працівників Інституту фізики конденсованих систем НАН України, а саме:

1. Остап Романович БАРАН, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
2. Андрій Богданович БАУМКЕТНЕР, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
3. Ірина Степанівна БЗОВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук, вчений секретар;
4. Вікторія Богданівна БЛАВАЦЬКА, доктор фізико-математичних наук, завідувач лабораторії статистичної фізики складних систем;
5. Тарас Михайлович БРИК, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України, директор Інституту фізики конденсованих систем НАН України;
6. Галина Анатоліївна БУТОВИЧ, аспірант;
7. Андрій Степанович ВДОВИЧ, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
8. Олег Володимирович ВЕЛИЧКО, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
9. Христина Аркадіївна ГАЙДУКІВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
10. Марта Валентинівна ГВОЗДЬ, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
11. Тарас Валентинович ГВОЗДЬ, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник, докторант;
12. Тарас Юрійович ГОЛОВАЧ, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
13. Юрій Васильович ГОЛОВАЧ, доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України;
14. Мирослав Федорович ГОЛОВКО, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник;
15. Йосип Андрійович ГУМЕНЮК, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
16. Тарас Ігорович ГУТАК, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;

17. Тарас Васильович ДЕМЧУК, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
18. Олег Володимирович ДЕРЖКО, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу квантової статистики;
19. Оксана Андріївна ДОБУШ, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
20. Данило Андрійович ДОБУШОВСЬКИЙ, молодший науковий співробітник;
21. Максим Юрійович ДРУЧОК, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
22. Максим Леонідович ДУДКА, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу статистичної теорії конденсованих систем;
23. Олександр Львович ІВАНКІВ, кандидат фізико-математичних наук, заступник директора з наукової роботи;
24. Василь Васильович ІГНАТЮК, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
25. Ілля-Микола Анджейович ІЛЕНКОВ, аспірант;
26. Ярослав Миколайович ІЛЬНИЦЬКИЙ, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем;
27. Ігор Володимирович ІДАК, молодший науковий співробітник;
28. Марія Ярославівна КОРВАЦЬКА, молодший науковий співробітник;
29. Іван Ярославович КРАВЦІВ, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
30. Олеся Михайлівна КРУПНІЦЬКА, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
31. Назар Борисович КУКАРКІН, аспірант;
32. Богдан Михайлович ЛІСНИЙ, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
33. Алла Пилипівна МОЇНА, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
34. Ігор Миронович МРИГЛОД, доктор фізико-математичних наук, академік НАН України, головний науковий співробітник;
35. Микола Іванович ПАЦАГАН, заступник директора з загальних питань;
36. Оксана Вадимівна ПАЦАГАН, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
37. Тарас Миколайович ПАЦАГАН, доктор фізико-математичних наук, заступник директора з наукової роботи;
38. Ігор Васильович ПИЛЮК, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
39. Роман Васильович РОМАНІК, кандидат фізико-математичних наук, докторант;
40. Роман Ярославович СТЕЦІВ, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
41. Михайло Васильович ТОКАРЧУК, доктор фізико-математичних наук, головний науковий співробітник;
42. Дмитро Юрійович ШАПОВАЛ, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;

43. Ярослав Йосифович ЩУР, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;

44. Дмитро Любомирович ЯРЕМЧУК, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник.

З присутніх – 16 докторів наук та 23 кандидатів наук (фахівців за профілем поданої дисертації).

Голова засідання – доктор фізико-математичних наук, академік НАН України, головний науковий співробітник І. М. МРИГЛОД.

2. СЛУХАЛИ Доповідь старшого наукового співробітника відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем Тараса Михайловича ВЕРХОЛЯКА за матеріалами дисертаційної роботи “Квантові флуктуації та фрустрації у низьковимірних спінових моделях: точні результати і пертурбативний аналіз”, поданої на здобуття ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – “теоретична фізика”.

Науковий консультант – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу квантової статистики Олег Володимирович ДЕРЖКО.

Тему дисертації уточнено 6 червня 2024 року на засіданні вченої ради Інституту фізики конденсованих систем НАН України протокол № 37.

Робота виконана у відділі комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем Інституту фізики конденсованих систем НАН України.

По доповіді були поставлені запитання, на які доповідач дав правильні та ґрунтовні відповіді:

Академік НАН України І. М. МРИГЛОД:

1) Чи результат з показником $2/3$ сингулярності ван Гога ваш? Чи і раніше це було відомо?

Відповідь: Такого типу сингулярності, мабуть, були відомі і раніше, але що стосується ефекту взаємодії Дзялошинського-Морія у ХУ ланцюжка, то це є наш результат. Спочатку сингулярності ван Гога стосувались не спінових моделей. І зараз аналіз сингулярностей ван Гога здобуває популярність в електронних системах у зв'язку з дослідженням графену.

Коментар д.ф.-м.н. О.В. Держка: Мені здається, що про показник $2/3$ у 2006 році ніхто не знав, просто ми не звернули на це уваги. У 2018 році дуже багато про це говорять, але у двох вимірах про зміну характеру сингулярностей ван Гога.

2) Щодо моделі з випадковою взаємодією, чи не пробували ви досліджувати інший тип випадковості крім знакозмінної?

Відповідь: Ні, не пробували. Насправді цей розподіл так спеціально вибраний, що дозволяє отримати точні результати, бо випадковість у гамільтоніані можна усунути калібрувальним чи унітарним перетворенням. Якщо б бімодальний розподіл змінити, то система стає складнішою і точного розв'язку у загальному випадку не існує. Реальний безлад у матеріалах є набагато складніший, але й точні результати є цінними.

3) Ви показували, що коли ми використовуємо наближення Гартрі-Фока, то важливо вибрати квантову фазу, тобто всі можливі середні. Ви аналізували всі випадки?

Відповідь: Я трохи побіжно це згадав. В наближенні Гартрі-Фока реалізуються тільки дві фази. На рис.4 суцільною показана лінія, яка розділяє димерну і антиферромагнітну фази, в той час як числові результати говорять про те, що внизу реалізуються фаза квантової спінової рідини замість антиферромагнітної фази. На жаль, це артефакт даного наближення.

4) Питання пов'язано з тим, що Ви спочатку розпочали з підходу Ліба, Шульца, Матіса, а потім записали унітарне перетворення. Чому саме таке перетворення вибрано? Чи була підказка до нього з попереднього підходу?

Відповідь: Коли я виводив це перетворення, то орієнтувався на представлення зображення на зв'язках. Питання було в тому, чи можна таку схему зображення перетворення на зв'язках перевести у строгу математичну структуру. І так я отримав це унітарне перетворення.

5) Ці плато — дуже цікава загадка природи. Тут ви говорите про $1/2$, $1/3$, $1/6$, $1/8$. А коли формулювали проблему, то згадувалось $2/15$. Є якісь ідеї звідки беруться ці числа з точки зору загального аналізу? Яка фізика за тим?

Відповідь: Виглядає, що це дуже схоже на ситуацію в одновимірних аналогах. Як це було зауважено Шуленбургом і Ріхтером для ортогонально-димерного ланцюжка, між плато $1/4$ і $1/2$ буде безмежна послідовність дрібніших плато. Наприклад у другому порядку теорії збурень ми отримали $1/4$, $1/6$, $1/8$ плато. Якщо ми продовжимо розвинення, то в наступному порядку ми імовірно отримаємо і $2/15$ і інші плато. Але тут є навіть проблема в у експерименті через те що важко ідентифікувати дрібні плато. Різні сторонні ефекти присутні в реальних магнетиках можуть руйнувати профілі характерні для плато.

6) В цьому контексті чи є якісь закономірності, які стосуються ширини плато при нульовій температурі? Які ширші? Які вужчі?

Відповідь: Найширші — це $1/2$ і $1/3$, які виникають вже в моделі Ізинга-Гайзенберга. Дрібніші плато зображені тут на експериментальній кривій, але вони ідентифікуються експериментаторами з якихось критеріїв пов'язаних з експериментом.

7) Йшла мова про триплони і використання теорії збурень. Ви оцінювали взаємодії, які виникали навколо триплону у просторовому масштабі. Чи означає це, що Ви розглядали випадок, коли число таких станів мале? Бо інакше потрібно розглядати взаємодію між триплонами. У якому порядку теорії збурень вона виникає?

Відповідь: Взаємодія між триплонами виникає в другому порядку теорії збурень. Триплонів може бути макроскопічна кількість, коли ми розглядаємо основний стан системи. В цьому випадку можна знайти конфігурацію триплонів, яка відповідає найменшій енергії. Коли ж мова йде про ненульові температури, то така задача не розв'язується точно.

8) В останньому розділі Ви згадували кластеризовані фази Голдейна. Чи такого типу фази можна шукати в класичних системах?

Відповідь: Квантовість є необхідна для утворення фаз Голдейна. Скажімо, якщо для прикладу подивитися на модель Афлека-Кенеді-Ліба-Тасакі, то там спіни 1 зображаються парою фіктивних спінів $1/2$, причому ці спіни $1/2$ створюють синглетний зв'язок між сусідніми вузлами. Така картина є неможливою в класичних системах.

9) Інше питання стосується двовимірних декорованих моделей. Чи є тут і де ми маємо дивитися за кластерними фазами у цій моделі?

Відповідь: Що стосується двовимірної декорованої моделі, то там є димер-тетрамерна фаза, яка складається з суміші нескорельованих синглетів на димерах і ромбах. Але ці стани не можна співставити з і станами Голдейна

Д.ф.-м.н., головний науковий співробітник М.В. ТОКАРЧУК:

1) Ось ці ланцюжки (з випадковою взаємодією) вони в даному випадку мають якусь довжину скінченну чи нескінченну?

Відповідь: Вони безмежні в загальному випадку. Ефекту розміру ми тут не розглядаємо.

2) Що дасть вихід за межі середнього поля? Чого можна очікувати?

Відповідь: Взагалі кажучи, ніхто цього не робив. Я думаю, що воно зруйнує фальшиві розв'язки для впорядкованої фази за відсутності поля

3) Виникає питання про внутрішні магнітні поля, які створюють спіни. Чи Ви їх враховуєте? Коли спіни орієнтуються тим чи іншим способом, то вони створюють свої магнітні поля.

Відповідь: Зазвичай будь-які магнітні моменти взаємодіють диполь-дипольними взаємодіями. Але в магнетиках ця взаємодія є набагато менша ніж обмінна взаємодія. Врахування диполь-дипольних взаємодій в магнетиках теж є проблемою, але її ефекти є малі і проявляються при дуже низьких температурах.

Д.ф.-м.н., заст. директора з наукових питань Т. М. ПАЦАГАН:

Згадувались числові методи iPEPS, CORE та інші. В чому вони полягають? Чи є дослідження цих систем за допомогою комп'ютерного моделювання першопринципних розрахунків, квантово-хімічних методів?

Відповідь: IPEPS — це аббревіатура infinite Projected Entangled Pair States. Це метод заснований на використанні тензорних мереж. CORE метод зараз не використовується, я не

скажу в чому він полягає. Наскільки я розумію $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ є кристал зі складною структурою і мені не відомі результати квантово-хімічних розрахунків для цього випадку.

Д.ф.-м.н., провідний науковий співробітник А. Б. БАУМКЕТНЕР:

Яка фізична інтерпретація взаємодії Дзялошинського-Морія? Як її зрозуміти з фізичної точки зору?

Відповідь: Вона індукує спіральну фазу. Така взаємодія виникає частіше у одновимірних і двовимірних матеріалах. Вона вимагає, щоб в кристалі був відсутній центр симетрії. Мікроскопічно цю взаємодію вивів Морія.

Д.ф.-м.н., старший науковий співробітник А. С. ВДОВИЧ:

В мене питання до другого розділу. Там були випадкові взаємодії. Середня намагніченість по часу на вузлі також нуль чи вона якось флюктує з вузла на вузол, подібно як це є у спіновому склі?

Відповідь: Наша модель є одновимірна з короткосяжними взаємодіями, тому жодних впорядкувань, чи фази спінового скла не виникає. Однорідна намагніченість може ставати відмінною від нуля лишень під впливом зовнішнього магнітного поля.

3. ВИСТУПИ ПРИСУТНІХ

З оцінкою дисертаційної роботи Т. М. Верхоляка, старшого наукового співробітника відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем, виступив рецензент

1. Академік НАН України Ю. В. ГОЛОВАЧ:

Роботи Тараса я віддавна знаю і мені дуже подобається те, що він робить. Тому хочу побажати йому успіху і тішусь, що Тарас закінчив дисертацію.

Загальна характеристика дисертаційної роботи рецензентів позитивна. Рецензенти запропонували рекомендувати дисертаційну роботу до подання та захисту у спеціалізованій вченій раді.

З оцінкою дисертаційної роботи виступили також присутні на фаховому семінарі.

Д. ф.-м. н., головний науковий співробітник М. В. ТОКАРЧУК:

Мені дуже приємно, що Тарас вирішив підвести такий підсумок. Впевнена і спокійна розповідь про складні системи про дуже гарні результати, серед них точні результати, порівняння з експериментом. Тут все є що говорить про те, що робота відповідає докторській дисертації. Це прекрасний вклад у наш інститут.

Д. ф.-м. н., академік НАН України, головний науковий співробітник І. М. МРИГЛЮД:

Я хотів сказати, що я вражений чудовим виступом і чудовою роботою. Мені здається, що Тарас однозначно продемонстрував високий фаховий рівень, стиль викладу. Ми бачили роботу, яка насичена, я б навіть сказав перенасичена з огляду на ті вимоги, які ставляться до дисертацій, як моделями, так і цікавими ефектами, результатами, фазовими діаграмами. Тарас добре володіє матеріалом, він знаходить аналогії в інших ділянках фізики. Все це говорить лише про одне. Я тільки жалію, що досі вимоги до захисту дисертацій не дозволяють нам використати спрощену процедуру розгляду дисертаційної роботи. Але з іншого боку немає зле, щоб на добре не вийшло. Тарас скомпонує, чи скомпонував уже в першому наближенні книжку, і дійсно це могла б бути книжка, якщо б він захотів це зафіксувати після захисту. Мені здається, що вона була б цікава, повчальна і корисна для багатьох, бо є велике різноманіття моделей, може й завелике як для книжки, але є повчальним. Я дуже радий, що цей семінар сьогодні відбувся і я переконаний, що Тарас заслуговує захистити докторську дисертацію, бо він де-факто є фахівцем високого рівня.

Д. ф.-м. н., директор Інституту фізики конденсованих систем НАН України **Т. М. БРИК**: Шановні друзі, цікаво було послухати доповідь. Це був по суті звіт за наукову діяльність. Дуже багато матеріалу, багато задач. Це все можна було б, як на мене, формалізувати п'ять років тому, але Тарас перфекціоніст у певному сенсі і він хотів довести задачі до завершення, що йому вдалося. Сам спектр задач дуже широкий. Тут є і динаміка спінових ланцюжків і термодинаміка, і фазові діаграми, і пошук точних розв'язків. Це демонструє те, що Тарас вже став спеціалістом високого рівня. Я абсолютно підтримую цю дисертацію і бажаю йому якнайшвидше подати її до спеціалізованої ради і захистити її цього року.

Д. ф.-м. н., завідувач відділу **Я. М. ІЛЬНИЦЬКИЙ**:

Я хочу сказати від відділу, тому що Тарас відноситься до нашого відділу, але ми розуміємо що Тарас найбільше співпрацює з Олегом Володимировичем і Тарасом Євстахійовичем. І це дуже добре, коли є такі багаторічні міжвідділівські зв'язки. Ми тішимося, що Тарас зараз вийшов на фінішну пряму. Це звичайно нелегко. Завжди думається, що є нові цікаві задачі. Але зараз цей семінар показав, що робота цілісна, вона має свій спектр моделей. І всі вони мають спільну концепцію і стосовно моделей, а також методів, які використовуються. Володіння методами було продемонстроване дуже серйозне. Стиль виступу показує сформованого науковця, який дійсно вже давніше міг би бути доктором наук. Тому я хочу підтримати і попросити Тараса, щоб він не зволікав з фіналізацією і тексту роботи і поданням документів. Бажаю успіху! Вітаю з дуже гарною роботою, гарним викладом! Ми всі знали, що Тарас дуже серйозний науковець, а тут це ще раз було гарно на доповіді показано.

Д. ф.-м. н., заступник директора з наукових питань **Т. М. ПАЦАГАН**:

Хочу привітати Тараса, що він поставив собі завдання формалізувати роботу, яка справді вирізняється цілісністю. Я не скажу, що завершеністю, бо завжди є що далі робити, але це вже було б забагато матеріалу. Дуже гарна робота! Захоплює, що так багато матеріалу настільки цілісно виглядає. В цьому видно такі риси Тараса, як послідовність, зваженість. Підтримую його роботу.

Виступаючи при обговоренні дали позитивну оцінку дисертаційній роботі, підтвердили актуальність вирішеного наукового завдання: дослідження динамічних властивостей та низькотемпературної поведінки термодинаміки низьковимірних квантових магнетиків.

Представлена дисертаційна робота Т. М. ВЕРХОЛЯКА відповідає кваліфікаційним вимогам, відповідає спеціальності 01.04.02 – “теоретична фізика” і може бути рекомендована для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді без додаткових виправлень. Присутні на засіданні обговорили проект висновку, підготовлений рецензентами: академіком НАН України Ю. В. ГОЛОВАЧЕМ, д. ф.-м. н., завідувачем завідувач відділу статистичної теорії конденсованих систем М. Л. ДУДКОЮ і д. ф.-м. н., завідувачем лабораторії статистичної фізики складних систем В. Б. БЛАВАЦЬКОЮ.

З характеристикою дисертанта виступив науковий консультант д. ф.-м. н., професор

О. В. ДЕРЖКО:

Мені страшенно непросто говорити щось коротко через те, що я з Тарасом вже 30 років обговорюю всілякі наукові проблеми і багато з того, що він сьогодні розповідав я знаю, як воно зароджувалося. Я знаю його думки і перші успіхи. Про все це неможливо говорити. Тут є більше ніж 20 таких результатів, про які можна говорити. Якщо б мене запитали про один, то мені здається, що це перспектива, яку він розвинув на модель Шастри-Сазерленда — стартувати з моделі Ізинга-Гайзенберга, а потім Ізингові зв'язки розширити додавши ХУ взаємодію як збурення. І то не тільки техніка, але й картина, яка з'являється, коли дивитися на модель. Звичайно, я підтримую його роботу.

4. ЗАСЛУХАВШИ ТА ОБГОВОРІВШИ ДОПОВІДЬ Тараса Михайловича ВЕРХОЛЯКА, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на фаховому семінарі Інституту фізики конденсованих систем НАН України, прийнято наступні висновки щодо дисертаційної роботи “Квантові флуктуації та фрустрації у низьковимірних спінових моделях: точні результати і пертурбативний аналіз”.

Висновок

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
“Квантові флуктуації та фрустрації у низьковимірних спінових моделях: точні
результати і пертурбативний аналіз” здобувача ступеня доктора фізико-математичних
наук Тараса Михайловича ВЕРХОЛЯКА
за спеціальністю 01.04.02 – “теоретична фізика”**

4.1. Актуальність теми дисертації

Квантові спінові моделі локалізованих магнітних моментів, які описують магнітоактивні діелектрики, є найпростішим представником класу сильноскорельованих систем, що можуть демонструвати складну поведінку. В низьковимірних системах ефекти впорядкування суттєво послаблюються квантовими флуктуаціями завдяки низьким координаційним числам одно- та двовимірних ґраток, що призводить до руйнування впорядкованого стану. Зокрема, основний стан одновимірних моделей зазвичай відповідає невпорядкованій фазі квантової спінової рідини, яка характеризується відсутністю локального порядку, степеневим затуханням кореляцій і безщільним спектром збуджень. Врахування конкуренції взаємодій в низьковимірних системах можуть призводити до появи сильноскорельованих квантових фаз з комплексною структурою.

Теоретичне дослідження низьковимірних квантових систем, особливо у випадку присутності конкурентних взаємодій, є складною проблемою. Для числових методів, зокрема у випадку двовимірних систем, ефекти скінченного розміру часто стають критично важливими при дослідженні систем з сильними квантовими кореляціями. З іншого боку, квантовий метод Монте Карло, який дозволяє вивчення систем більшого розміру, не застосовний у випадку фрустрованих моделей через так звану “проблему знаку”. Аналітичні ж підходи до систем з відсутнім локальним порядком, притаманним згаданим моделям, потребують формулювання нових наближень. При цьому точні результати для згаданих моделей відіграють важливу роль, оскільки дозволяють отримати прозору картину явищ, хоч і для спрощеної моделі. На жаль, число таких результатів є обмеженим у випадку фрустрованих систем.

Протягом тривалого часу всебічне дослідження фрустрованих систем залишається в центрі уваги. Зокрема важливим є інтерпретація динамічних характеристик, що дозволяє встановити мікроскопічну природу магнітних явищ у кристалах. Проте, їхній розрахунок в низьковимірних системах часто ускладнюється відсутністю локального порядку, що призводить до появи нелокальних елементарних збуджень. Форма динамічних структурних факторів в залежності від конфігурації взаємодій та зовнішнього поля залишаються проблемою сучасних досліджень. Відмінною характеристикою фрустрованих систем є спонтанне порушення трансляційної симетрії в основному стані та опис послідовності дробових плато у прикладеному магнітному полі. Така проблема для моделі Шастри-Сазерленда і її експериментальної реалізації сполуки $\text{SrCu}_2(\text{VO}_3)_2$ залишається актуальною протягом останніх десятиліть.

4.2. Зв'язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямами інституту та відділу

Дисертаційна робота виконувалась в Інституті фізики конденсованих систем НАН України. Представлені в дисертації результати отримані згідно з планами робіт в рамках бюджетних

тем НАН України: “Вплив молекулярної структури і процесів локального впорядкування на фізичні властивості багаточастинкових систем” (2014-2018 рр., номер держреєстрації 0114U001048), “Процеси впорядкування і властивості багаточастинкових статистичних систем: Теорія і комп’ютерне моделювання” (2019-2023 рр., номер держреєстрації 0119U100663), а також тем “Розробка сучасних теоретичних методів та їх застосування до вивчення властивостей конденсованих систем” (2002–2006 рр., номер держреєстрації 0102U001794), “Розвиток і застосування методів аналітичної теорії та комп’ютерного експерименту для опису явищ переносу в іон-електронних системах” (2007–2011 рр., номер держреєстрації 0107U002081), “Багатомасштабність і структурна складність конденсованої речовини: теорія і застосування” (2012-2016 рр., номер держреєстрації 0112U003119), “Нові концепції статистичного опису і їх застосування у теорії багаточастинкових систем” (2017-2021 рр., номер держреєстрації 0117U002093).

4.3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

У спільних публікаціях автору дисертації належить:

- обчислення xx динамічного структурного фактора для ланцюжків з взаємодією Дзялошинського-Морія;
- обчислення zz динамічного структурного фактора для спінів-1/2 XU ланцюжків;
- аналітичний розрахунок xx динамічних структурних факторів для регулярно і випадково неоднорідних XU ланцюжків;
- постановка задачі про метод середнього поля для ферміонізованого гамільтоніану та розрахунки в даному наближенні;
- постановка задачі про точний розв’язок моделі Ізинга-Гайзенберга на двоногій драбинці та отримання точного розв’язку;
- аналітичний розрахунок критичних поведінки магнетоелектрика Ізинга-Гайзенберга на двоногій драбинці;
- постановка задачі про точний розв’язок для ортогонально-димерної моделі Ізинга-Гайзенберга на одно- та двовимірних ґратках;
- формулювання ефективної моделі для опису низькотемпературної термодинаміки ортогонально-димерного ланцюжка;
- формулювання теорії збурень для квантової XU частини міждиммерної взаємодії для моделей з сильною взаємодією всередині димерів;
- участь у розрахунку ефективної моделі Ізинга для спінів-електронної моделі з декорованими вузлами;
- низькотемпературна термодинаміка октаедричного ланцюжка;
- формулювання ефективних моделей для низькотемпературної термодинаміки ромбічного та октаедричного ланцюжків;
- отримання фазової діаграми для класичного варіанту моделі Гайзенберга на квадратній ґратці декорованій ромбами;
- ефективний опис критичної поведінки моделі Ізинга-Гайзенберга на квадратній ґратці декорованій ромбами.

Автор брав безпосередню участь в обговоренні усіх результатів, опублікованих у спільних дослідженнях.

4.4. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Отримані результати для динамічних характеристик однорідних та неоднорідних ХУ ланцюжків є точними. Двоногі драбинки Ізинга-Гайзенберга, а також одно- та двовимірні ортогонально-димерні моделі Ізинга-Гайзенберга розглянуто в межах строгого підходу. Точні результати для критичної поведінки моделі Ізинга-Гайзенберга на квадратній ґратці, декорованій ромбами, та спін-електронній моделі на подвійно-декорованій ґратці було розраховано точна за допомогою декораційно-ітераційного перетворення. Метод Гартрі-Фока для ферміонізованих гамільтоніанів зигзаг драбинки і ромбічного ланцюжка відтворює точні результати для димеризованих станів. Досліджено його справедливості при інших наборах параметрів шляхом порівняння з даними точної діагоналізації. Теорія збурень навколо точних результатів для гібридних моделей Ізинга-Гайзенберга демонструє добру збіжність вже у другому порядку, як це впливає із порівняння з наявними результатами різних числових підходів. Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, повністю обґрунтовано теоретичним аналізом.

4.5. Ступінь новизни основних результатів дисертаційної роботи порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Наукова новизна отриманих результатів полягає у: 1) отриманні точних результатів для спін-1/2 моделі Ізинга-Гайзенберга на двоногій драбинці, для ортогонально-димерних моделей Ізинга-Гайзенберга в одному та двох вимірах; 2) формулюванні покращеного методу сильного зв'язку на основі багаточастинкової теорії збурень навколо точного розв'язку моделей Ізинга-Гайзенберга.. За результатами дисертаційної роботи вперше:

- виявлено, що взаємодія Дзялошинського-Морія призводить до нетривіальних змін у динамічних величинах, а саме до появи сингулярностей ван Гова не лише з показником $1/2$, а й $2/3$ у профілях динамічних структурних факторів;
- отримано точні результати для аналізу динамічних структурних факторів періодичних та випадкових ланцюжків, де неоднорідність задається знаком обмінної взаємодії;
- виявлено, що метод ферміонізації Йордана-Вігнера у поєднанні з наближенням середнього поля дає задовільний опис фрустрованих спінових моделей близько до границі фази синглетних димерів;
- знайдено точний розв'язок для спін-1/2 фрустрованої двонової драбинки Ізинга-Гайзенберга та досліджено фази основного стану;
- знайдено точний розв'язок для спін-1/2 одновимірної ортогонально-димерної моделі Ізинга-Гайзенберга та її двовимірного аналогу на ґратці Шастри-Сазерленда; продемонстровано, що магнітне поле призводить до виникнення дробових плато у цих моделях;
- запропоновано теорію збурень за квантовою ХУ частиною міждимерної взаємодії для ряду одновимірних та двовимірних моделей з сильними димерними взаємодіями; продемонстровано, що така схема дає добру збіжність вже у другому порядку теорії збурень;
- досліджено квантовий спін-1/2 октаедричний ланцюжок, а також його аналог зі змішаними спінами 1 і $1/2$; знайдено фазові діаграми моделей та встановлено квантові фази зі складною структурою;

- для моделі Гайзенберга на ромбічно-декорованій квадратній ґратці ідентифіковано лінії квантових фазових переходів першого роду між феримагнітною фазою Ліба-Матіса і мономер-димерною фазою, які закінчуються лінією критичних точок при скінченних температурах; запропоновано спрощену модель Ізинга-Гайзенберга на цій ґратці, яка дозволяє знайти точний розв'язок для згаданих ліній фазових переходів першого роду та строго дослідити лінію критичних точок;
- виявлено, що спін-електронна модель на подвійно-декорованій ґратці з Ізинговими спінами на основних вузлах і делокалізованими електронами на парі декорованих вузлів демонструє немонотонну залежність від інтегралу переносу та Кулонового відштовхування електронів для температури переходу до антиферомагнітного впорядкування.

4.6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

За матеріалами дисертації опубліковано 52 наукові праці, з них: 31 стаття у фахових наукових виданнях [1-31] та 21 теза конференцій [32-51].

СТАТТІ:

- 1) O. Derzhko and T. Verkholyak, "Effects of Dzyaloshinskii-Moriya interaction in the dynamics of $s = 1/2$ XX chain," Czechoslovak Journal of Physics 54, D531–D534 (2004).
- 2) O. Derzhko and T. Verkholyak, "Dynamics of the spin-1/2 XY chain with Dzyaloshinskii-Moriya interaction," Physica B: Condensed Matter 359-361, 1403–1405 (2005).
- 3) O. Derzhko, T. Verkholyak, T. Krokhmalskii, and H. Büttner, "The effects of the symmetric and antisymmetric anisotropies on the dynamics of the spin-1/2 XY chain," Physica B: Condensed Matter 378-380, 443–444 (2006).
- 4) O. Derzhko, T. Verkholyak, T. Krokhmalskii, and H. Büttner, "Dynamic probes of quantum spin chains with the Dzyaloshinskii-Moriya interaction," Phys. Rev. B 73, 214407 (2006).
- 5) O. Derzhko and T. Verkholyak, "Dynamic Structure Factors of the Spin-1/2 XX Chain with Dzyaloshinskii-Moriya Interaction," Journal of the Physical Society of Japan 75, 104711 (2006).
- 6) T. Verkholyak, O. Derzhko, T. Krokhmalskii, and J. Stolze, "Dynamic properties of quantum spin chains: Simple route to complex behavior," Phys. Rev. B 76, 144418 (2007).
- 7) T. Verkholyak, O. Derzhko, T. Krokhmalskii, and J. Stolze, "Dynamic correlations in a random spin-1/2 XY chain," Acta Physica Polonica A 113, 441–444 (2008).
- 8) T. Verkholyak, A. Honecker, and W. Brenig, "Jordan-Wigner approach to the frustrated spin one-half XXZ chain," European Physical Journal B 49, 283–287 (2006).
- 9) T. Verkholyak, J. Strečka, M. Jaščur, and J. Richter, "Spin-1/2 XXZ diamond chain within the Jordan-Wigner fermionization approach," Acta Physica Polonica A 118, 978–979 (2010).
- 10) T. Verkholyak, J. Strečka, M. Jaščur, and J. Richter, "Magnetic properties of the quantum spin-1/2 XX diamond chain: The Jordan-Wigner approach," European Physical Journal B 80, 433–444 (2011).
- 11) T. Verkholyak and J. Strečka, "Quantum phase transitions in the exactly solved spin-1/2 Heisenberg–Ising ladder," Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 45, 305001 (2012).

- 12) T. Verkholyak and J. Strečka, “Ground state of a spin-1/2 Heisenberg-Ising two-leg ladder with XYZ intra-rung coupling,” *Condensed Matter Physics* 16, 13601 (2013).
- 13) J. Strečka, O. Rojas, T. Verkholyak, and M. L. Lyra, “Magnetization process, bipartite entanglement, and enhanced magnetocaloric effect of the exactly solved spin-1/2 Ising-Heisenberg tetrahedral chain,” *Phys. Rev. E* 89, 022143 (2014).
- 14) J. Strečka, L. Gálisová, and T. Verkholyak, “Enhanced magnetoelectric effect near a field-driven zero-temperature quantum phase transition of the spin-1/2 Heisenberg-Ising ladder,” *Phys. Rev. E* 101, 012103 (2020).
- 15) T. Verkholyak and J. Strečka, “Exact solution for a quantum spin-1/2 Ising-Heisenberg orthogonal-dimer chain with Heisenberg intradimer and Ising interdimer interactions,” *Phys. Rev. B* 88, 134419 (2013).
- 16) T. Verkholyak and J. Strečka, “Low-temperature thermodynamics of spin-1/2 orthogonal-dimer chain with Ising and Heisenberg interactions,” *Acta Physica Polonica A* 126, 22–23 (2014).
- 17) T. Verkholyak, J. Strečka, F. Mila, and K. P. Schmidt, “Exact ground states of a spin-1/2 Ising-Heisenberg model on the Shastry-Sutherland lattice in a magnetic field,” *Phys. Rev. B* 90, 134413 (2014).
- 18) T. Verkholyak and J. Strečka, “Fractional magnetization plateaus of the spin-1/2 Heisenberg orthogonal-dimer chain: Strong-coupling approach developed from the exactly solved Ising-Heisenberg model,” *Phys. Rev. B* 94, 144410 (2016).
- 19) J. Strečka, L. Gálisová, and T. Verkholyak, “Insights into nature of a magnetization plateau of 3d-4f coordination polymer $[Dy_2 Cu_2]_n$ from a spin-1/2 Ising-Heisenberg orthogonal-dimer chain,” *Condensed Matter Physics* 23, 43708 (2020).
- 20) L. Gálisová, J. Strečka, T. Verkholyak, and S. Havadej, “Magnetization plateaus and bipartite entanglement of an exactly solved spin-1/2 Ising-Heisenberg orthogonal-dimer chain,” *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures* 125, 114089 (2021).
- 21) T. Verkholyak and J. Strečka, “Modified strong-coupling treatment of a spin-1/2 Heisenberg trimerized chain developed from the exactly solved Ising-Heisenberg diamond chain,” *Phys. Rev. B* 103, 184415 (2021).
- 22) T. Verkholyak and J. Strečka, “Fractional magnetization plateaus of a spin-1/2 Heisenberg model on the Shastry-Sutherland lattice: effect of quantum XY interdimer coupling,” *SciPost Phys.* 12, 056 (2022).
- 23) J. Strečka, A. Tanaka, L. Čanová, and T. Verkholyak, “Spontaneous antiferromagnetic long-range order in the two-dimensional hybrid model of localized Ising spins and itinerant electrons,” *Phys. Rev. B* 80, 174410 (2009).
- 24) L. Gálisová, J. Strečka, A. Tanaka, and T. Verkholyak, “Effect of on-site Coulomb repulsion on phase transitions in exactly solved spin-electron model,” *Acta Physica Polonica A* 118, 942–943 (2010).
- 25) L. Gálisová, J. Strečka, A. Tanaka, and T. Verkholyak, “Effect of the on-site interaction on the magnetic properties of an exactly solvable spin-electron system,” *Journal of Physics: Condensed Matter* 23, 175602 (2011).

- 26) J. Strečka, J. Richter, O. Derzhko, T. Verkholyak, and K. Karl'ová, "Diversity of quantum ground states and quantum phase transitions of a spin- 1/2 Heisenberg octahedral chain," *Phys. Rev. B* 95, 224415 (2017).
- 27) J. Strečka, J. Richter, O. Derzhko, T. Verkholyak, and K. Karl'ová, "Magnetization process and low-temperature thermodynamics of a spin-1/2 Heisenberg octahedral chain," *Physica B: Condensed Matter* 536, 364–368 (2018).
- 28) K. Karl'ová, J. Strečka, and T. Verkholyak, "Cluster-based Haldane phases, bound magnon crystals and quantum spin liquids of a mixed spin-1 and spin-1/2 Heisenberg octahedral chain," *Phys. Rev. B* 100, 094405 (2019).
- 29) J. Strečka, T. Verkholyak, J. Richter, K. Karl'ová, O. Derzhko, and J. Schnack, "Frustrated magnetism of spin- 1/2 Heisenberg diamond and octahedral chains as a statistical mechanical monomer-dimer problem," *Phys. Rev. B* 105, 064420 (2022).
- 30) N. Caci, K. Karl'ová, T. Verkholyak, J. Strečka, S. Wessel, and A. Honecker, "Phases of the spin- 1/2 Heisenberg antiferromagnet on the diamond-decorated square lattice in a magnetic field," *Phys. Rev. B* 107, 115143 (2023).
- 31) J. Strečka, K. Karl'ová, T. Verkholyak, N. Caci, S. Wessel, and A. Honecker, "Thermal first-order phase transitions, Ising critical points, and reentrance in the Ising-Heisenberg model on the diamond-decorated square lattice in a magnetic field," *Phys. Rev. B* 107, 134402 (2023).

ТЕЗИ КОНФЕРЕНЦІЙ:

- 32) O. Derzhko and T. Verkholyak, "Effects of Dzyaloshinskii-Moriya interaction in the dynamics of $s = 1/2$ XX chain," in 12th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG04, Košice (Slovakia), July 10–15, 2004. Programme and Abstracts (Košice, 2004) p. 72.
- 33) O. Derzhko, T. Verkholyak, T. Krokhamalskii, and H. Büttner, "The effects of the symmetric and antisymmetric anisotropies on the dynamics of the spin-1/2 XY chain," in The International conference on Strongly Correlated Electron Systems SCES05 (July 26-30, 2005, Vienna, Austria). Programme and Abstracts (Vienna, 2005) p. 125.
- 34) T. Verkholyak, A. Honecker, and W. Brenig, "The study of the J_1 - J_2 $s=1/2$ XXZ chain using the Jordan-Wigner and mean-field approaches," in Statistical Physics 2005: Modern problems and New Applications (August 28-30, 2005, Lviv, Ukraine). Book of abstracts (Lviv, 2005) p. 191.
- 35) T. Verkholyak, O. Derzhko, T. Krokhamalskii, and J. Stolze, "Dynamic correlations in a random spin-1/2 XY chain," in 13th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG07 (July 9 -12, 2007, Kosice, Slovakia). Programme and abstracts (Košice, 2007) p. 223.
- 36) T. Verkholyak, J. Strečka, and M. Jaščur, "Quantum spin-1/2 XX model on a distorted diamond chain and Jordan-Wigner fermionization," in 3-rd Conference Statistical Physics: Modern Trends and Applications. Programme and Abstracts (June 23-25, 2009, Lviv, Ukraine) (Lviv, 2009) p. 240.
- 37) T. Verkholyak, J. Strečka, and M. Jaščur, "Spin-1/2 XY diamond chain: Magnetic properties using the Jordan-Wigner fermionization," in International Conference on Magnetism ICM 2009. Program and Abstracts (July 26-31, 2009, Karlsruhe, Germany) (Karlsruhe, 2009) p. 284.
- 38) L. Čanová, J. Strečka, A. Tanaka, and T. Verkholyak, "Effect of On-Site Coulomb Repulsion on Phase Transitions in Exactly Solved Spin-Electron Model," in 14th Czech and Slovak Conference

on Magnetism CSMAG10 (July 6 - 9, 2010, Kosice, Slovakia). Programme and abstracts (Košice, 2010) p. 186.

39) T. Verkholyak, J. Strečka, M. Jaščur, and J. Richter, “Spin-1/2 XXZ Diamond Chain within the Jordan-Wigner Fermionization Approach,” in 14th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG10 (July 6 - 9, 2010, Kosice, Slovakia). Programme and abstracts (Košice, 2010) p. 206.

40) T. Verkholyak and J. Strečka, “First- and second-order quantum phase transitions in the exactly solved spin-1/2 Heisenberg-Ising ladder,” in The 37-th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics MECO 37, (18-22 March 2012, Tatranské Matliare, Slovakia) Programme and Abstracts (Tatranské Matliare, 2012) p. 38.

41) T. Verkholyak and J. Strečka, “Ground state of the spin-1/2 XYZ-Heisenberg-Ising two-leg ladder,” in 4-th Conference on Statistical Physics: Modern Trends and Applications. Book of abstracts (July 3-6, 2012, Lviv, Ukraine) (Lviv, 2012) p. 212.

42) T. Verkholyak and J. Strečka, “Thermodynamics of spin-1/2 orthogonal-dimer chain with Ising and anisotropic Heisenberg interactions,” in 15th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG13 (Košice, Slovakia, June 17 -21, 2013) Programme and abstracts (Košice, 2013) p. 50.

43) J. Strečka, O. Rojas, T. Verkholyak, and M. L. Lyra, “Magnetization process of the spin-1/2 Ising-Heisenberg and Heisenberg tetrahedral chain: a comparison,” in The 39-th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics MECO 39, Coventry (England), April 8–10, 2014 (Coventry, 2014) p. 93.

44) T. Verkholyak and J. Strečka, “Strong coupling approach to the spin-1/2 orthogonal-dimer chain,” in 16th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG16, Košice (Slovakia), June 13–17, 2016. Programme and Abstracts (Košice, 2016) p. 76.

45) T. Verkholyak and J. Strečka, “Effect of quantum XY interdimer coupling on the low-field magnetization of the Shastry-Sutherland model,” in Workshop on Current Problems in Physics, Lviv, 03–04 July 2018 (Lviv, 2018) p. 10, [J. Phys. Stud. 2015. Vol. 19, no. 1/2. P. 3998–3].

46) T. Verkholyak and J. Strečka, “Modified strong-coupling approach to the trimer-ized Heisenberg chain,” in 17th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG19 (Košice, Slovakia, June 3-7, 2019) Programme and abstracts (Košice, 2019) p. 92.

47) T. Verkholyak and J. Strečka, “The Ising-Heisenberg model on the distorted Shastry-Sutherland lattice: ground-state properties,” in Workshop on Quantum Magnetism: Theoretical Challenges and Future Perspectives, Košice (Slovakia), June 13–17, 2019 (Košice, 2019) p. 16.

48) T. Verkholyak and J. Strečka, “Effect of the bond distortion in the Ising-Heisenberg model on the Shastry-Sutherland lattice,” in 5-th Conference on Statistical Physics: Modern Trends and Applications, Lviv (Ukraine), June 3–6, 2019 (Lviv, 2019) p. 167.295

49) T. Verkholyak and J. Strečka, “Modified strong-coupling treatment of a spin-1/2 Heisenberg trimerized chain,” in III Workshop on Quantum Low-Dimensional Magnetism (Belo Horizonte - MG, Brasil, June 1–4, 2021). Scientific Program (Belo Horizonte, 2021) p. 8.

50) T. Verkholyak and J. Strečka, “The Shastry-Sutherland model in low and high fields: perturbative treatment of XY interdimer coupling,” in 1st Workshop on Perspective Electron Spin

Systems for Future Quantum Technologies, Košice (Slovakia), June 28–29, 2022 (Košice, 2019) p. 16.

51) J. Strečka, T. Verkholyak, K. Karl'ová, N. Caci, S. Wessel, and A. Honecker, “Phase boundary of spin-1/2 Ising-Heisenberg and Heisenberg models on a diamond decorated square lattice as magnetic analog of vapor-liquid phase border of water,” in 1st Workshop on Perspective Electron Spin Systems for Future Quantum Technologies, Košice (Slovakia), June 28–29, 2022 (Košice, 2019) p. 40.

52) T. Verkholyak and J. Strečka, “Exotic quantum phases in the Shastry-Sutherland model: perturbative approach,” in IV Workshop on Quantum Low-Dimensional Magnetism, Maceio-AL (Brasil), June 6–10, 2022 (Maceio-AL, 2019) p. 16.

4.7. Апробація основних результатів дослідження на конференціях, симпозиумах, семінарах тощо

Результати досліджень було представлено на таких конференціях: 12th-17th Czech and Slovak Conference on Magnetism CSMAG04 (Кошиці, Словаччина, 2004, 2007, 2010, 2013, 2016, 2019); SCES'05: Strongly Correlated Electron Systems (Відень, Австрія, 2005); Statistical Physics 2005: Modern Problems and New Applications (Львів, 2005); 3rd, 4th, 5th Conference on Statistical Physics: Modern Trends and Applications (Львів, 2009, 2012, 2019); International Conference on Magnetism ICM 2009 (Карлсруе, Німеччина, 2009); International Workshop Flatband Networks in Condensed Matter and Photonics (Теджон, Південна Корея, 2017); International 11th Workshop on Current Problems in Physics (Львів, 2018); Trends in Quantum Magnetism (Бав Гоненф, Німеччина, 2018); Workshop on Quantum Magnetism: Theoretical Challenges and Future Perspectives (Кошиці, Словаччина, 2019); III Workshop on Quantum Low-Dimensional Magnetism (Белу Орізонті, Бразилія, 2021); IV Workshop on Quantum Low-Dimensional Magnetism (Масейо, Бразилія, 2022); 1st Workshop on Perspective Electron Spin Systems for Future Quantum Technologies (Кошиці, Словаччина, 2022); Різдвяні дискусії на кафедрі теоретичної фізики Львівського національного університету ім. І. Франка (2012), а також на семінарах Інституту фізики Університету Дортмунда (Німеччина), кафедри теоретичної фізики та астрофізики Університету П.Й. Шафарика у Кошицях (Словаччина) та Інституту фізики конденсованих систем НАН України.

4.8. Наукове значення використаного дослідження із зазначенням можливих наукових галузей та розділів в програмі навчальних курсів, де можуть бути застосовані отримані результати

Наукова цінність результатів дисертаційної роботи полягає у отриманні ряду точних результатів для фрустрованих квантових систем, а саме двоногії драбинки Ізинга-Гайзенберга, одно- та двовимірних ортогонально-димерних моделей Ізинга-Гайзенберга. Запропоновано теорію збурень за квантовою ХУ частиною міждиммерної взаємодії для ряду одновимірних та двовимірних моделей з сильними димерними взаємодіями. Такий метод дає чудовий збіг з наявними числовими даними при помітних значеннях міждиммерної взаємодії вже у другому порядку теорії збурень. Окрім цього ідентифіковано і досліджено на фазовій діаграмі моделі Гайзенберга на ромбічно-декорованій квадратній ґратці лінії квантових

фазових переходів першого роду, які закінчуються лінією критичних точок при скінченних температурах; та отримано точний розв'язок для таких переходів на основі спрощеної моделі Ізинга-Гайзенберга на цій ґратці.

4.9. Практична цінність результатів дослідження із зазначенням конкретного підприємства, або галузі народного господарства, де вони можуть бути застосовані

Отримані результати та запропоновані теоретичні методи можна використати для пояснення фізичних властивостей магнетиків з сильними димерними взаємодіями та передбачення їх поведінки у магнітному полі.

4.10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація має логічну структуру. Дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів, основних положень дисертації, списку використаних джерел та двох додатків. Стиль та мова дисертації не викликають суттєвих зауважень.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України.

У ході обговорення дисертації до здобувача не було висунуто жодних зауважень щодо суті самої роботи.

4.11. Відповідність дисертації паспорту спеціальності, за якою вона представлена до захисту

Дисертація є самостійною науково-дослідною роботою. Робота є актуальною і виконана на високому науковому рівні. Автор має ґрунтовну теоретичну підготовку й необхідні професійні знання. Робота відповідає спеціальності 01.04.02 – “теоретична фізика”.

5. З урахування вище зазначеного, на фаховому семінарі зі спеціальності 104 – “Фізика і астрономія” Інституту фізики конденсованих систем НАН України ухвалили:

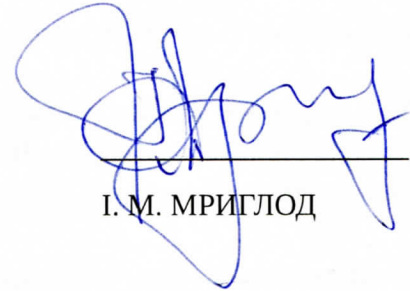
5. 1. Дисертаційна робота Тараса Михайловича ВЕРХОЛЯКА на тему “Квантові флуктуації та фрустрації у низьковимірних спінових моделях: точні результати і пертурбативний аналіз” є завершеною науковою працею, у якій розв'язані актуальні наукові завдання: 1) аналіз впливу різного типу анізотропії та неоднорідності на динамічні властивості ХУ ланцюжків, 2) застосування перетворення Йордана-Вігнера та середнього поля для одновимірних фрустрованих моделей, 3) отримання строгих результатів для фрустрованих квантових моделей, 4) пертурбативне врахування квантової ХУ частини міждиммерних взаємодій для одно та двовимірних моделей з сильними димерними взаємодіями, та опис їх експериментальних реалізацій, 5) дослідження низьковимірних моделей на декорованих ґратках в межах строгих підходів та ефективних моделей для опису їх низькотемпературної термодинаміки. Ці результати відповідають спеціальності 01.04.02 – “теоретична фізика” та мають важливе значення для галузі 10 – “природничі науки”.

5. 2. Матеріали дисертації Т. М. Верхоляка повністю висвітлено у 52 наукових публікаціях, з них 31 статтю включено до міжнародних наукометричних баз.

5. 3. Дисертація Т. М. Верхоляка відповідає вимогам постанови КМУ від 24 липня 2013 р. № 567 “Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів”, наказів МОН України № 1112 від 17.10.2012 р. “Про опублікування результатів дисертацій на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук” та № 40 від 12.01.2017 р. “Про затвердження вимог до оформлення дисертації”.

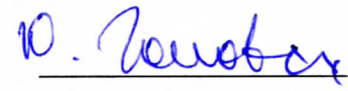
5. 4. З урахуванням високого фахового рівня Т. М. Верхоляка, дисертаційна робота “Квантові флуктуації та фрустрації у низьковимірних спінових моделях: точні результати і пертурбативний аналіз” є завершеним науковим дослідженням і рекомендується для подання до розгляду та захисту на спеціалізованій вченій раді.

Головуючий на засіданні фахового семінару,
доктор фізико-математичних наук,
академік НАН України



I. M. МРИГЛОД

Рецензенти:
доктор фізико-математичних наук,
академік НАН України



Ю. В. ГОЛОВАЧ

доктор фізико-математичних наук,
завідувач відділу статистичної теорії конденсованих систем



М. Л. ДУДКА

доктор фізико-математичних наук,
завідувач лабораторії статистичної фізики складних систем



В. Б. БЛАВАЦЬКА