

Затверджую
Директор Інституту фізики
конденсованих систем НАН України
д.ф.-м.н.  Т. М. Брик



ВИТЯГ
з протоколу №1186 фахового семінару
Інституту фізики конденсованих систем НАН України
від 30 вересня 2021 р.

1. ПРИСУТНІ 40 працівників Інституту фізики конденсованих систем НАН України, а саме:

1. Остап Романович БАРАН, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
2. Ірина Степанівна БЗОВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук, вчений секретар;
3. Вікторія Богданівна БЛАВАЦЬКА, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
4. Тарас Михайлович БРИК, доктор фізико-математичних наук, директор Інституту фізики конденсованих систем НАН України;
5. Андрій Степанович ВДОВИЧ, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
6. Олег Володимирович ВЕЛИЧКО, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
7. Христина Аркадіївна ГАЙДУКІВСЬКА, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
8. Юліан Назарович ГОНЧАР, аспірант;
9. Юрій Васильович ГОЛОВАЧ, доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України, завідувач відділу статистичної теорії конденсованих систем;
10. Мирослав Федорович ГОЛОВКО, доктор фізико-математичних наук, професор, член-кореспондент НАН України, головний науковий співробітник;
11. Олег Володимирович ДЕРЖКО, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач відділу квантової статистики;
12. Оксана Андріївна ДОБУШ, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
13. Данило Андрійович ДОБУШОВСЬКИЙ, молодший науковий співробітник;
14. Максим Юрійович ДРУЧОК, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
15. Юрій Ігорович ДУБЛЕНИЧ, молодший науковий співробітник;
16. Аскольд Андрійович ДУВІРЯК, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
17. Максим Леонідович ДУДКА, доктор фізико-математичних наук, завідувач лабораторії статистичної фізики складних систем;
18. Олександр Львович ІВАНКІВ, кандидат фізико-математичних наук, заступник директора з наукової роботи;

19. Василь Васильович ІГНАТЮК, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
20. Ярослав Миколайович ІЛЬНИЦЬКИЙ, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем;
21. Остап Юрійович КАЛЮЖНИЙ, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
22. Михайло Павлович КОЗЛОВСЬКИЙ, доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник;
23. Марія Ярославівна КОРВАЦЬКА, аспірант;
24. Іван Ярославович КРАВЦІВ, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
25. Мар'яна Богданівна КРАСНИЦЬКА, кандидат фізико-математичних наук, докторантка;
26. Володимир Олександрович КРАСНОВ, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
27. Тарас Євстахійович КРОХМАЛЬСЬКИЙ, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
28. Олеся Михайлівна КРУПНІЦЬКА, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
29. Алла Пилипівна МОЇНА, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
30. Ігор Миронович МРИГЛОД, доктор фізико-математичних наук, академік НАН України, головний науковий співробітник;
31. Оксана Вадимівна ПАЦАГАН, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
32. Тарас Миколайович ПАЦАГАН доктор фізико-математичних наук, заступник директора з наукової роботи;
33. Ігор Васильович ПИЛЮК, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
34. Роман Ярославович СТЕЦІВ, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
35. Дмитро Юрійович ШАПОВАЛ, аспірант;
36. Андрій Михайлович ШВАЙКА, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
37. Володимир Ігорович ШМОТОЛОХА, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
38. Микола Адріанович ШПОТ, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
39. Юрій Григорович ЯРЕМКО, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
40. Дмитро Любомирович ЯРЕМЧУК, аспірант.

На засідання запрошений:

Андрій Романович КУЗЬМАК, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри теоретичної фізики імені Івана Вакарчука Львівського національного університету імені Івана Франка.

З присутніх – 17 докторів наук та 17 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 аспіранта відділу квантової статистика Тараса Ігоровича ГУТАКА за матеріалами дисертаційної роботи “Термодинаміка фрустрованих квантових спінових систем”, поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 104 – “Фізика і астрономія”.

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

Тему дисертації затверджено 6 лютого 2018 року на засіданні вченої ради Інституту фізики конденсованих систем НАН України протокол № 16.

Робота виконана у відділі квантової статистики 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) Тарасе, я тут хотів уточнити. Оця кореляційна довжина, яку ви ввели, описує кореляції між двома найближчими вузлами, між якими є декорація?

Відповідь: Кореляційна довжина пов’язана із корелятором між двома спінами на одному щаблі і двома спінами на іншому щаблі.

2) Фактично вона має сенс кореляції по довжині ланцюга?

Відповідь: Так, між щаблями.

3) Ці два випадки модельних систем із декораціями демонструють псевдокритичну поведінку, яка повністю зв’язана з тим, в який спосіб залежать від температури ефективні взаємодії? В тих місцях, де ефективні взаємодії продукують аналог певної неаналітичності, то це і є наслідком псевдокритичної поведінки?

Відповідь: Коли при певній температурі ефективні взаємодії рівні нулю, тоді ці моделі зводяться до одновимірного ланцюжка Ізинга, і в цій точці ми бачимо його критичну поведінку.

4) Чи не можна записати якісь поправлені скейлінгові співвідношення для цих декорованих систем? Бо ці показники мали б бути пов'язані іншим скейлінгом, який просто диктується через похідні.

Відповідь: Напевно, це можливо, але точної відповіді у мене нема.

5) Чи є у вас якісь міркування чи пояснення чому для ґратки пірохлору наближення Тяблікова працює краще ніж для простої кубічної ґратки?

Відповідь: Критична температура, обчислена в наближенні Тяблікова, для ґратки пірохлору просто менша за критичну температуру для простої кубічної. Для ґратки пірохлору наближення не працює краще.

6) Використовуючи метод ентропії, ви обраховуєте в певний специфічний спосіб енергію основного стану і показники. Чи можна сказати, який з них має преференцію? І чи використовуєте ви якийсь критерій, наприклад, середнє квадратичне відхилення між всіма вибірками найближчих Паде апроксимант?

Відповідь: Ми робимо певні припущення про вигляд спектру (із щілиною чи без) і про значення енергії основного стану. Якщо ми відразу вгадали б їх значення, то всі Паде були б дуже близькі. Мені здається, що різниця між різними показниками могла б себе проявити при вищих порядках, ніж доступні зараз, високотемпературних наближень. При доступному зараз порядку високотемпературних розвинень значення показників розрізнити не можна.

Академік НАН України Ю. В. ГОЛОВАЧ:

1) Що стається із кореляціями не між щаблями, а між вузлами?

Відповідь: Тоді потрібно буде розглядати кореляційну функцію, яку ми тут не досліджували.

1) Бо коли вклад від щабля рівний нулю, тобто, коли температура компенсує те, що взаємодія на щаблі антиферромагнітна, то система розщепилася на два ланцюги. Для ланцюжка Ізинга є фазовий перехід при нульовій температурі із певними показниками. То ми приходимо до того, з чого ви починали доповідь: одновимірної системи в якій при близькодії немає фазового переходу?

Відповідь: Критична поведінка ланцюжка Ізинга при нульовій температурі проявляє себе при скінченних температурах. При якійсь скінченній температурі ми побачимо прості ланцюжки Ізинга при дуже низьких температурах.

Д.ф.-м.н., провідний науковий співробітник І. В. ПИЛЮК:

Запитання про показники: ви сказали, що можна ввести показники для кореляційної довжини (одиниця) і теплоємності (три), що саме означає ввести? Вони так аналітично виходять, чи ви їх якось вводите?

Відповідь: В псевдокритичній точці функції скінченні, але поблизу неї такі показники впливають природньо із аналітичних обчислень.

Д.ф.-м.н., головний науковий співробітник М. П. КОЗЛОВСЬКИЙ:

1) Чи в тих законах скейлінгу якимось чином змінюється вимірність простору? Зрозуміло, що ці співвідношення не виконуються.

Відповідь: Співвідношення не виконуються і ми розглядали тільки одновимірні системи.

2) А чи їх можна зробити справедливими за рахунок введення ефективної вимірності простору?

Відповідь: Не думаю, що можна.

Д.ф.-м.н., головний науковий співробітник А. М. ШВАЙКА:

1) Скільки підграток має ґратка пірохлору?

Відповідь: Чотири.

2) Чи не було би більш коректно вводити середнє значення намагніченості для кожної з підграток і яка аргументація, що середнє від намагніченості на всіх підгратках однакове?

Відповідь: Сумарна намагніченість це сума середніх від всіх підграток. Мені здається, що вклад від всіх підграток має бути однаковим.

К.ф.-м.н., доцент А. Р. Кузьмак:

Чи кореляційна довжина вирахувана на основному стані ґратки і як вона змінюється із температурою?

Відповідь: Ця кореляційна довжина пов'язана із згасанням із відстанню корелятора між щаблями і обчислена для довільних температур.

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

Метод ентропії можна застосовувати тільки до систем, де немає фазового переходу?

Відповідь: Так. Але якщо застосувати метод ентропії до простої кубічної ґратки, то ми отримаємо якісно схожі результати з квантовим Монте Карло, але прямо застосовувати у цьому вигляді не можна.

3. ВИСТУПИ ПРИСУТНІХ

З оцінкою дисертаційної роботи Т. І. Гутака, аспіранта відділу квантової статистики, виступили рецензенти

1. Д.ф.-м.н., завідувач лабораторії статистичної фізики складних систем **М. Л. ДУДКА**: Хочу підтримати цю роботу. Видно, що людина сформувалася як науковець. Представлені результати доволі цікаві. Видно володіння багатьма методами і вважаю, що семінар має підтримати цю роботу.

2. К.ф.-м.н., старший науковий співробітник **М. А. ШПОТ**: Дуже кваліфікована, об'ємна, гарна і цікава робота. Без сумніву, заслуговує присудження наукового ступеня др. ф.

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., провідний науковий співробітник **А. М. ШВАЙКА**: робота дуже гарна, зроблено дуже багато. Отримано цікаві фізичні результати, які опубліковано в якісних публікаціях. Підтримую дисертаційну роботу.

Д. ф.-м. н., академік НАН України, головний науковий співробітник **І. М. МРИГЛОД**: мав змогу сьогодні почути про задачі: по-перше – цікаві, по-друге – привабливі для теоретиків, бо завжди хочеться мати чітку мотивацію і прослідкувати все від початку до кінця та отримати на виході щось, що можна відповідним чином проінтерпретувати. Мені здається, що задачі дуже повчальні для студентів, зокрема, класи моделей з декораціями. Вони мають риси, які могли б увійти у підручники. На рівні публікацій, отриманих результатів, фахового викладу матеріалу і враховуючи відповіді на запитання дисертанта, маємо всі підстави, щоб рекомендувати роботу до захисту і підтримати наукового керівника і пошукувача в їхньому намаганні завершити цикл з підготовки доктора філософії. Рекомендую дисертаційну роботу до захисту.

Д. ф.-м. н., директор Інституту фізики конденсованих систем НАН України **Т. М. БРИК**: дуже гарна доповідь, доповідач спокійно і детально розповів про свої дослідження. Дисертант виглядає як сформований науковець, який досягає гарних результатів. У роботі є прекрасні результати по термодинаміці, результати по динамічних властивостях (динамічному структурному фактору) і навіть порівняння з реальними експериментами. Підтримую дисертанта щодо висновку про завершення дисертаційної роботи.

Д. ф.-м. н., старший науковий співробітник **А. С. ВДОВИЧ**: Задачі досліджуються різними методами, а отримані результати узгоджуються, що свідчить про їхню достовірність. Підтримую роботу до захисту.

К. ф.-м. н., старший науковий співробітник **Т. Є. КРОХМАЛЬСЬКИЙ**: дисертант здібний, працьовитий, наполегливий і, в хорошому розумінні, впертий чоловік. Підтримую дисертаційну роботу.

Виступаючі при обговоренні дали позитивну оцінку дисертаційній роботі, підтвердили актуальність вирішеного наукового завдання: дослідження термодинаміки фрустрованих квантових спінових систем. Представлена дисертаційна робота Т. І. ГУТАКА відповідає кваліфікаційним вимогам, відповідає спеціальності 104 – “Фізика і астрономія” 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: д. ф.-м. н., завідувачем лабораторії статистичної фізики складних систем М. Л. ДУДКОЮ і к. ф.-м. н., ст. наук. спів. М. А. ШПОТОМ.

З характеристикою дисертанта виступив науковий керівник д. ф.-м. н., професор **О. В. ДЕРЖКО**: мені здається, що Тарас добре виклав доповідь і добре все пояснив. Я хотів би почати з того, що я є титульним керівником, але ще один керівник є в тіні – це Тарас Крохмальський. Половину з всього, що він знає, він взяв від мене, а половину від Тараса Крохмальського. На PhD діяльність дуже погано вплинула пандемія. Він дуже мало їздив, але брав участь у відомій конференції “Кореляційні дні” у Дрездені (віртуально), де добре себе зарекомендував. Мені взагалі загалом здається, що він є здібний чоловік і я йому бажаю просуватися вгору. Має хороші риси для теоретика: має свою думку, як правило, він зі мною не погоджується. Вміє швидко вчитися, вони дискутували з Тарасом Крохмальським всякі числові проблеми, з моєї точки зору він це швидко освоїв. Я задоволений його роботою, ми програму виконали.

4. ЗАСЛУХАВШИ ТА ОБГОВОРІВШИ ДОПОВІДЬ Тараса Ігоровича ГУТАКА, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на фаховому семінарі Інституту фізики конденсованих систем НАН України, прийнято наступні висновки щодо дисертаційної роботи “Термодинаміка фрустрованих квантових спінових систем”.

Висновок

фахового семінару зі спеціальності Інституту фізики конденсованих систем НАН України про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації “Термодинаміка фрустрованих спінових систем” здобувача вищої освіти ступеня доктора філософії Тараса Ігоровича ГУТАКА за спеціальністю 104 – “Фізика і астрономія”

4.1. Актуальність теми дисертації

Зумовлена геометричною фрустрацією конкуренція обмінних взаємодій між локалізованими магнітними моментами (спінами) у магнетоактивних діелектричних кристалах може приводити до виникнення незвичних фаз конденсованої матерії. Теоретичний опис таких матеріалів ускладнений відсутністю надійних аналітичних і числових методів. Зокрема, числові симуляції методом квантового Монте Карло тут недоступні через так звану “проблему знаку”.

Протягом останніх п’яти років активно досліджуються одновимірні декоровані (фрустровані) ланцюжки Ізинга. Низка таких моделей виявляє незвичну для одновимірних систем низькотемпературну поведінку термодинамічних величин. Перші похідні від вільної енергії (внутрішня енергія, ентропія) мають стрімкий стрибок при певному скінченному значенні температури (псевдокритичної температури). Водночас, другі похідні від вільної енергії (теплоємність, магнітна сприйнятливність) при цьому ж значенні температури набувають дуже великих значень. Поблизу псевдокритичної температури кореляційна довжина, теплоємність і магнітна сприйнятливність мають степеневу поведінку. Існує потреба у поясненні цих недавніх результатів.

Найбільш геометрично фрустрованою ґраткою у тривимірному просторі є ґратка пірохлору. Дослідження властивостей основного стану антиферромагнітної $S=1/2$ моделі Гайзенберга на цій ґратці ведеться протягом останніх тридцяти років. Незважаючи на значні зусилля, проблема досі далека від вирішення. Значення енергії основного стану і природа низькоенергетичних збуджень все ще не відомі. Термодинамічні величини моделі досліджені тільки в області високих і проміжних температур. Існує потреба у свіжих підходах до проблеми.

4.2. Зв’язок теми дисертації з державними програмами, науковими напрямками 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: "Квантові багаточастинкові ґраткові системи: динамічний відгук і ефекти сильних кореляцій" (2013-2017 рр., номер держреєстрації 0112U007761), "Сильні кореляції і конкуренції взаємодій у класичних і квантових ґраткових системах різної вимірності" (2018-2022 рр., номер держреєстрації 0118U003010) і "Ефекти фрустрації у квантових спінових системах" (2019 р., номер держреєстрації 0191U103413).

4.3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Постановку завдань дослідження здійснив науковий керівник роботи доктор фізико-математичних наук, професор О. В. Держко. У спільних публікаціях автору дисертації належить:

- застосування декораційно-ітераційного перетворення до двонової драбинки Ізинга із тримерними щаблями; аналітичні обчислення і аналіз термодинамічних величин;
- аналіз ефективних гамільтоніанів для спінів-1/2 Ізинг – XYZ ромбічного ланцюжка, спінів – електронного ланцюжка подвійних тетраедрів і спінів-1/2 ланцюжка подвійних тетраедрів Ізинга – Гайзенберга і побудова фазових діаграм; аналіз термодинамічних величин;
- отримання рівнянь руху для двочасових функцій Гріна в наближенні Тяблікова, аналіз самоузгодженого рівняння для намагніченості, аналітичні обчислення для сприйнятливості і теплоємності;
- аналіз високотемпературних розвинень теплоємності і магнітної сприйнятливості методом Паде апроксимант і методом ентропії; розробка програм для реалізації цих методів.

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

Для одновимірних декорованих ланцюжків і драбинок Ізинга отримані результати для статистичної суми і термодинамічних величин є точними. Обчислені методом двочасових функцій Гріна в наближенні Тяблікова термодинамічні спостережувані для квантового $S=1/2$ феромагнетика Гайзенберга порівнювались із чисельними симуляціями методом квантового Монте Карло. В області застосовності наближення Тяблікова, отримані результати добре узгоджуються із даними симуляцій. Дані для теплоємності і магнітної сприйнятливості для квантового $S=1/2$ антиферомагнетика Гайзенберга порівнювались із результатами високотемпературних розвинень і симуляціями методом діаграматичного Монте Карло (для сприйнятливості). 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) виявленні причини виникнення низькотемпературних особливостей одновимірних декорованих (фрустрованих) ланцюжків і драбинок Ізинга; 2) дослідженні термодинаміки квантової $S=1/2$ феромагнітної і антиферомагнітної моделі Гайзенберга на гратці пірохлору. За результатами дисертаційної роботи вперше:

- досліджено ефективний гамільтоніан двонової драбинки Ізинга із тримерними щаблями; знайдено причину стрімкої зміни ентропії і аномально великих значень кореляційної довжини і теплоємності при значенні псевдокритичної температури; обґрунтовано степеневу поведінку кореляційної довжини і теплоємності поблизу псевдокритичної температури;
- досліджено ефективний гамільтоніан декорованих ланцюжків Ізинга (спінів-1/2 Ізинг-XYZ ромбічного ланцюжка, спінів-електронного ланцюжка подвійних тетраедрів і спінів-

1/2 ланцюжка подвійних тетраедрів Ізинга-Гайзенберга); пояснено причину стрімкої зміни внутрішньої енергії та ентропії і аномально великих значень кореляційної довжини, теплоємності та магнітної сприйнятливості при псевдокритичній температури; обґрунтовано степеневу поведінку кореляційної довжини, теплоємності та магнітної сприйнятливості поблизу псевдокритичної температури;

- досліджено термодинаміку $S=1/2$ ферромагнітної моделі Гайзенберга на гратці пірохлору в рамках методу двочасових функцій Гріна в наближенні Тяблікова (заповнено прогалину – досі таких досліджень чомусь не було); обчислено значення критичної температури; знайдено температурну залежність намагніченості і теплоємності (для температур нижче критичної) і магнітної сприйнятливості (для температур вище критичної); обчислено динамічний структурний фактор;
- досліджено термодинаміку $S=1/2$ антиферромагнітної моделі Гайзенберга на гратці пірохлору в рамках методу ентропії; вперше обчислено температурну залежність теплоємності і магнітної сприйнятливості на всьому інтервалі температур; запропоновано нову оцінку енергії основного стану.

4.6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

За матеріалами дисертації опубліковано 10 наукових праць, з них: 4 статті у фахових наукових виданнях [1-4] та 6 тез конференції [5-10].

СТАТТІ:

- 1) The spin-1/2 Heisenberg ferromagnet on the pyrochlore lattice: A Green's function study / T. Hutak, P. Müller, J. Richter et al // Condensed Matter Physics. – 2018. – Vol. 21, no. 3(33705). – P. 1–13.
- 2) Adapting Planck's route to investigate the thermodynamics of the spin-half pyrochlore Heisenberg antiferromagnet / O. Derzhko, T. Hutak, T. Krokhumalskii et al // Phys. Rev. B. – 2020. – Vol. 101. – P. 174426.
- 3) Low-temperature thermodynamics of the two-leg ladder Ising model with trimer rungs: A mystery explained / T. Hutak, T. Krokhumalskii, O. Rojas et al // Physics Letters A. – 2021. – Vol. 387. – P. 127020.
- 4) Towards low-temperature peculiarities of thermodynamic quantities for decorated spin chains/ T. Krokhumalskii, T. Hutak, O. Rojas et al // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2021. – Vol. 573. – P. 125986.

ТЕЗИ КОНФЕРЕНЦІЙ:

- 5) Гутак Т. Термодинаміка квантового $S=1/2$ ферромагнетика Гайзенберга на гратці пірохлору // XVIII Всеукраїнська школа-семінар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, Львів, 7 – 8 червня, 2018. Тези доповідей. Львів, 2018. С. 42.
- 6) Гутак Т. Термодинаміка спінових систем: від високих до низьких температур //XIX Всеукраїнська школа-семінар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, Львів, 13 – 14 червня, 2019. Тези доповідей. Львів, 2019. С. 31.

7) T. Hutak, T. Krokhmalkii, O. Derzhko, and J. Richter, Thermodynamics of the $S=1$ Heisenberg antiferromagnet on kagome lattice // Statistical Physics: Modern Trends and Applications, 3 – 6 July 2019, Lviv, Ukraine. Book of abstracts. Lviv, 2019. P. 114.

8) T. Krokhmalkii, T. Hutak, O. Rojas, S. M. de Souza, and O. Derzhko, Low-temperature peculiarities of thermodynamic quantities for decorated spin chains // Statistical Physics: Modern Trends and Applications, 3 – 6 July 2019, Lviv, Ukraine. Book of abstracts. Lviv, 2019. P. 115.

9) Гутак Т. Термодинаміка квантового $S=1/2$ антиферомагнетика Гайзенберга на гратці пірохлору // XX Всеукраїнська школа-семінар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, Львів, 15 – 16 жовтня, 2020. Тези доповідей. Львів, 2020. С. 30.

10) Гутак Т. Термодинамічні і динамічні властивості $S=1/2$ моделі Гайзенберга на пилкоподібному ланцюжку // XXI Всеукраїнська школа-семінар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, Львів, 11 – 13 жовтня, 2021. Тези доповідей. Львів, 2021. С. 19.

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

Результати досліджень було представлено на таких конференціях: XVIII, XIX, XX, XXI Всеукраїнські школи-семінари і конкурси молодих вчених зі статистичної фізики і теорії конденсованої речовини (Львів, 2018, 2019, 2020 та 2021 рр.), Statistical Physics: Modern Trends and Applications (Львів, 2019) і Korrelationstage 2021 (Дрезден, 2021), а також на семінарах Інституту фізики конденсованих систем НАН України і семінарах відділів статистичної теорії конденсованих систем і квантової статистики цього інституту (2017 – 2021 рр.).

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 поясненні виникнення низькотемпературних особливостей низки декорованих (фрустрованих) ланцюжків і драбинок Ізинга. Показано, що така поведінка зумовлена “слідами” критичної поведінки простого ланцюжка Ізинга при нульовій температурі і в нульовому полі. Окрім цього, досліджено термодинамічну поведінку $S=1/2$ квантової феромагнітної і антиферомагнітної моделі Гайзенберга на гратці пірохлору. Теплоємність і сприйнятливості антиферомагнетика вперше досліджено на всьому інтервалі температур. Отримані результати вже є предметом обговорення у інших дослідницьких групах.

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

Отримані результати можуть бути основою для подальших теоретичних студій, а також використані для аналізу експериментальних даних для пірохлорів, двовимірних фрустрованих квантових магнетиків (наприклад, на ґратці квадратне кагоме). Окремі фрагменти представленого у дисертації дослідження можна використати у спецкурсах для аспірантів.

4.10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація має логічну структуру. Дисертаційна робота складається із вступу, трьох розділів, основних положень дисертації, списку використаних джерел та чотирьох 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 104 – “Фізика і астрономія”.

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 Ігоровича ГУТАКА на тему “Термодинаміка фрустрованих спінових систем” є завершеною науковою працею, у якій розв’язані актуальні наукові завдання: 1) пояснення причини незвичної низькотемпературної поведінки у низці одновимірних декорованих ланцюжків і драбинок Ізинга; 2) обчислення термодинамічних величин квантової $S=1/2$ феромагнітної і антиферомагнітної моделі Гайзенберга на геометрично фрустрованій тривимірній ґратці пірохлору. Ці результати відповідають спеціальності 104 – “Фізика і астрономія” та мають важливе значення для галузі 10 – “природничі науки”.

5. 2. Матеріали дисертації Т. І. Гутака повністю висвітлено у 10 наукових публікаціях, з них 4 статті включено до міжнародних наукометричних баз.

5. 3. Дисертація Т. І. Гутака відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. “Про затвердження вимог до оформлення дисертації”, Порядку проведення експерименту з

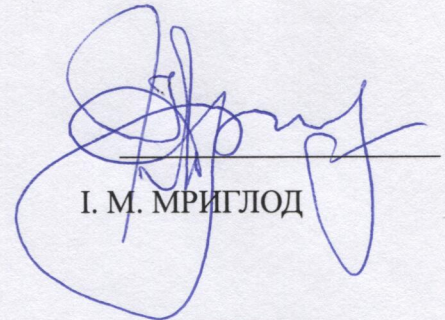
присудження ступеня доктора філософії (Постанова кабінету міністрів України від 06.03.2017 р. №167).

5. 4. З урахуванням наукової зрілості та професійних якостей Т. І. Гутака, дисертаційна робота “Термодинаміка фрустрованих спінових систем” рекомендується для подання до розгляду та захисту на спеціалізованій вченій раді.

За затвердження висновку проголосували:

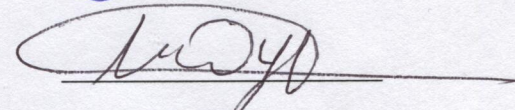
за	–	40 (одностайно)
проти	–	0 (немає)
утримались	–	0 (немає)

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



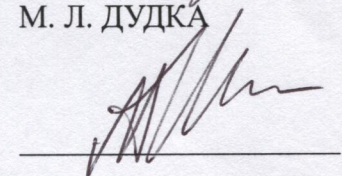
I. M. МРИГЛОД

Рецензенти:
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



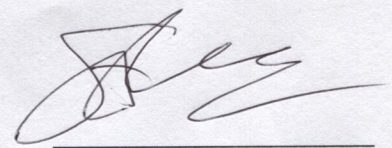
М. Л. ДУДКА

кандидат фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник



М. А. ШПОТ

Відповідальний у ННІ за атестацію PhD
доктор фізико-математичних наук,
провідний науковий співробітник



А. М. ШВАЙКА