

Затверджую

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

Т. М. Брик

“8” грудня 2024 р.

ВИТЯГ**з протоколу № 1255 фахового семінару**

Інституту фізики конденсованих систем НАН України

від 3 жовтня 2024 р.

1. ПРИСУТНІ 50 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. Андрій Степанович ВДОВИЧ, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
7. Олег Володимирович ВЕЛИЧКО, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
8. Тарас Михайлович ВЕРХОЛЯК, кандидат 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. Юліан Назарович ГОНЧАР, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
16. Йосип Андрійович ГУМЕНЮК, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
17. Тарас Васильович ДЕМЧУК, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
18. Олег Володимирович ДЕРЖКО, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу статистичної теорії конденсованих систем;
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, професор, завідувач відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем;
27. Ігор Володимирович ІДАК, аспірант;
28. Остап Юрійович КАЛЮЖНИЙ, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
29. Михайло Павлович КОЗЛОВСЬКИЙ, доктор фізико-математичних наук, головний науковий співробітник;
30. Марія Іванівна КОПЧА, молодший науковий співробітник;
31. Марія Ярославівна КОРВАЦЬКА, молодший науковий співробітник;
32. Іван Ярославович КРАВЦІВ, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
33. Маряна Богданівна КРАСНИЦЬКА, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
34. Олеся Михайлівна КРУПНІЦЬКА, кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник;
35. Назар Борисович КУКАРКІН, аспірант;
36. Богдан Михайлович ЛІСНИЙ, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий

- співробітник;
37. Роман Степанович МЕЛЬНИК, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
 38. Алла Пилипівна МОЇНА, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
 39. Ігор Миронович МРИГЛОД, доктор фізико-математичних наук, академік НАН України, головний науковий співробітник;
 40. Оксана Вадимівна ПАЦАГАН, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
 41. Тарас Миколайович ПАЦАГАН доктор фізико-математичних наук, заступник директора з наукової роботи;
 42. Ігор Васильович ПИЛЮК, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
 43. Роман Васильович РОМАНІК, кандидат фізико-математичних наук, докторант;
 44. Михайло Васильович ТОКАРЧУК, доктор фізико-математичних наук, головний науковий співробітник;
 45. Андрій Дмитрович ТРОХИМЧУК, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
 46. Андрій Михайлович ШВАЙКА, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
 47. Володимир Ігорович ШМОТОЛОХА, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник;
 48. Микола Андріанович ШПОТ, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник;
 49. Ярослав Йосифович ЩУР, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник;
 50. Дмитро Любомирович ЯРЕМЧУК, кандидат фізико-математичних наук, молодший науковий співробітник.

З присутніх – 20 докторів наук та 24 кандидатів наук (фахівців за профілем поданої дисертації).

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

2. СЛУХАЛИ доповідь старшого наукового співробітника Лабораторії статистичної фізики складних систем Мар'яни Богданівни КРАСНИЦЬКОЇ за матеріалами дисертаційної роботи “Колективна поведінка на складних мережах: фундаментальні аспекти та застосування”, поданої на здобуття ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – “теоретична фізика”.

Науковий консультант – доктор фізико-математичних наук, професор, академік НАН України

Юрій Васильович ГОЛОВАЧ.

Робота виконана у Лабораторії статистичної фізики складних систем Інституту фізики конденсованих систем НАН України.

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

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

1) Дякую Мар'яна. Гарний вступ. Питання стосовно розподілів Пуасона і експоненційного розподілу є справедливими, коли зв'язки є незалежні між собою, особливо розподіл Пуасона. А от степеневий розподіл, як він отримується у Вас? Такі степеневі розподіли отримуються правильно і гарно, коли Ви працюєте із ентропією Цалліса або ентропією Рені, це можна точно показати, що є такий степеневий закон. А як у Вас тут отримується, як Ви оперуєте ним?

Відповідь: З ентропією ми не працюємо, точніше я не працювала. А як отримується такі степеневі закони? Їхня важливість полягає в тому, що такі розподіли характеризуються товстими хвостами, тобто, в них є достатньо велика ймовірність знайти вузли з великим ступенем, тобто, для такої системи є присутні хаби. І загалом такі розподіли були побудовані і запропоновані для того, щоб пояснювати спостережувані мережі, коли, скажімо, досліджували структуру інтернету чи соціальну мережу, тобто, взяли якусь експериментальну мережу і побачили якою є її структура. Наприклад, відома мережа друзів фейсбуку - легко ідентифікувати хто є вузлом і якщо люди є присутніми в друзях один одного, то відповідно між ними є зв'язок і після цього ми можемо побудувати функцію розподілу для такої мережі. А у нас степеневі закони, коли я говорила про моделі складних мереж, то ці моделі були статичними, а модель Барабаші-Альберта була динамічною за рахунок переважного приєднання.

Д.ф.-м.н., професор, член-кор. НАН України, головний науковий співробітник М.Ф. ГОЛОВКО:

1) Я б хотів задати просте питання. Ви весь час наголошуєте на тому, що Ви розглядаєте складні мережі. Раз є складні, то є і прості мережі. Як Ви визначаєте котрі складні, а котрі прості і де між ними різниця?

Відповідь: Дякую за запитання. Насправді, визначень є дуже багато, але складною вважають мережу, яка є десь посередині між абсолютно регулярною структурою та абсолютно випадковою, тобто припустимо це мережа Барабаші-Альберта, а граф Ердоша-Рені він вважатиметься моделлю мереж, але він не буде складною мережею.

2) Я б хотів ще раз уточнити. Є мета, тут ще треба було би попрацювати, бо скажуть дослідження колективної поведінки з якою метою чи ще щось. Ну більш чітко мету, мені здається, сформулювати.

Відповідь2: Добре, дякую. Я врахую!

3) Я б хотів тільки прокоментувати. Колись давно в книжці Хілла «Статистична механіка» я пам'ятаю була така інтерпретація нулів Лі-Янга, яка зв'язана із електростатичною задачею - що коли є площина то виникають так звані електростатичні сили відображення. Я вже деталі зараз просто згадав, варто б подивитися в книжку більш детально.

Відповідь2: Дякую. Я врахую!

4) Я би хотів таке запитати. Я не побачив, вже Ігор Миронович казав відносно останнього розділу, що цей розподіл по містах це як скінченний кластер, але мережа може бути і безмежним кластером, перехід це є явище перколяції. Ви досліджували як впливає перехід від мережі скінченного кластеру до мережі безмежного кластеру? Чи виникають нові явища, нові фазові переходи чи ще щось?

Відповідь: Дякую! В цих задачах не досліджували. Де ми використовували скінченновимірні ефекти, з точки зору нулів статичтичної суми, коли ми розглядали модель Блюма-Капеля на повному графі, розглядали систему скінченного розміру і знали, які є середньопольові критичні показники і відповідно очікувані характеристики. А у всіх інших випадках для задач на повному графі чи безмасштабній мережі, які я досліджувала - модель Ізінга чи Поттца із невидимими станами - ми розглядали ці задачі в термодинамічній границі, коли розмір системи прямує до безмежності і таких переходів ми не досліджували.

Академік НАН України І. М. МРИГЛОД:

1) Ну і я б тут хотів продовжити питання Михайла. Тобто, топологія в мережах є визначальна. Перше просте питання, ну не просте насправді, чи є спроби, так би мовити, поєднати топологію з локалізацією у просторі чи є якісь такі математичні підходи де простір і топологія намагаються їх поєднати?

Відповідь: Я зараз багато прикладів не згадаю. Єдиний, який ми розглядали в межах проекту для молодих вчених у співпраці із Остапом Калюжним і Дмитром Яремчуком. Ми планували розглядати полімерні мережі і власне для таких полімерних мереж брали до уваги і просторові характеристики тобто просторові відстані, але враховували такі мережені характеристики, як коефіцієнт кластерності і посередність, і їх вибудовували з врахуванням характеристик мереж та відстаннями між цими полімерними об'єктами. Наскільки я знаю це були спроби декількох груп – японської та корейської здається, але більш детально я зараз не пригадаю.

2) Дякую. А стосовно питання Михайла, то я так розумію, що в теорії мереж це є два альтернативних способи пізнання світу. Перший - це коли Ви хочете сконструювати мережу з певним типом розподілу, тобто, як її сконструювати і на ній вже можна досліджувати поведінку певних там об'єктів, а інший підхід - це коли Ви берете реальну мережу, яка в світі існує і пробуєте знайти функцію розподілу. Так?

Відповідь: Власне так. Або запропонувати моделі, які будуть найкраще описувати цю реальну мережу, про що я буду говорити в останньому розділі.

3) Дякую. І щоб не забути до цієї частини мало прозвучало, бо Ви говорите вступ, бо це так би мовити вступ до роботи, де була мета сформульована перед тим. Але фактично не прозвучало

прізвища інших дослідників, які атакували цю проблему. До Вас щось робилося? Я розумію, що Ви будете в окремих розділах ще говорити. Але в загальному вступі теж можна назвати прізвища. Для того, щоб показати, що ця робота не виникла на порожньому місці, що тут є доробок і інших людей.

Відповідь: Добре. Дякую!

4) От Ви говорите, що один з важливих результатів – це зміна роду переходу, коли враховуються приховані змінні, то якщо коротко сформулювати, який механізм зміни роду переходу?

Відповідь: Як я казала, що в по суті в нас з'являються ентропійні внески, ці змінні приховані.

5) Дякую. А моделі з прихованими змінними, тобто, апелюється до моделі Поттца, до певного експерименту, де та модель пропонувалася. Мені здається, що це поняття виникло може не під цією термінологією, а набагато ширше, бо були намагання пояснити ренормалізацією Фішера, ну це один з підходів, він полягав у тому, що є приховані змінні, тобто показував, що є приховані змінні, то через термодинаміку можна показати, що має місце таке цікаве явище як ренормалізація критичних індексів, а якщо говорити загалом, якщо візьмемо модель Поттца, модель Де Жена, яка часто досліджується (Ізінг в поперечному полі). Це є модель в якій враховуються два найнижчі стани, якщо ми будемо стартувати частинки в ямі з ангармонізмом два найнижчі стани і враховуємо взаємодію між ними, і нехтуємо при цьому всіма станами, які вищі. Це означає, що фактично ми їх не враховуємо, коли записуємо модель Де Жена, але можна ці стани теж враховувати і тоді ви отримуєте модель вищого рівня ієрархії, і тоді виникає задача про те як відноситься термодинаміка моделі Де Жена і моделі з трьома рівнями, де на третьому рівні частинки можуть не взаємодіяти. Такі роботи я теж бачив. Тобто я не думаю, що це такий винахід, який стосується моделі Поттца, то історію можна шукати мабуть. Ну, це таке міркування.

Відповідь: Ну і ще також цю модель запропонували для пояснення явище вибухової перколяції, бо іноді в природних системах спостерігається нетривіальний фазовий перехід.

6) Я би хотів запитати, оскільки це методологічно важлива частина. Ви маєте два усереднення, які задаються зверху, тобто треба усереднювати спостережувані. У Вашому випадку чи залежить результат від послідовності усереднення?

Відповідь: Як я казала тут ми розглядаємо модель на так званій відпаленій безмасштабній мережі і на цій мережі це не є замороженій безлад, це є відпалений безлад, тому, по суті, усереднення ми можемо виконувати незалежно і одночасно. А для повного графа та графа Ердоша-Рені виконується, як таке, за спінами.

7) Ну тут є ще специфіка, так би мовити розподіли є незалежними, тобто, кореляції між топологією і величиною спіна, бо можна було би сформулювати модель там де великий спін. Для спінів топологія має специфіку локальну чи навпаки. Тоді результати були б відмінними, так?

Відповідь: Так! Погоджуюся, але ми розглядали простіші випадки для цих моделей.

8) Це суттєвий момент також, бо можна було би в цій серії задач розглядати поведінку магнітних колоїдів, в яких частинки полідисперсні, але розмір визначає магнітний момент і тоді би ви мали цікаву задачу, бо розподіл впливав би на магнітний момент, тобто, впливав би на величину магнітного моменту. Покажіть попередній слайд. Тобто, тут ви описали область першу, другу, третю. А четверта і п'ята які вони?

Відповідь: Я перепрошую, тут мала бути четверта, п'ята в таблиці і я не перейменувала.

9) Ага, тобто тут, коли у вас пише п'ята область це означає, що?

Відповідь: Оця. Це діапазон лямда-мю більше п'яти.

10) Великі.

Відповідь: Так!

11) Тобто, це фактично, якби на мові взаємодій говорити, то це короткі взаємодії, а в інших ділянках домінує один з показників, який характеризує далеку поведінку, яка задається розподілами альфа і мю. У четвертій ділянці домінує мю, так?

Відповідь: Так!

12) Тобто, у Вас критична поведінка визначається специфікою розподів, які Ви означили.

Відповідь: Так, тих яких я означила в останньому розділі.

13) Мриггод: Тобто, тут взаємодія між спінами, вона є всі із всіма, так?

Відповідь: Для повного графу взаємодія всі із всіма, а для безмасштабної мережі з певним розподілом.

14) Мриггод: Я розумію. А ця взаємодія зі всіма?

Відповідь: Так зі всіма.

15) Оця модель специфічна тим, що ми маємо дві підсистеми, кожна з яких є модель Ізінга і довжини спінів різняться. Як Ви думаєте, який був би отриманий результат, коли одна підсистема є спіни Ізінга, а інша підсистема – спіни Гайзенберга?

Відповідь: Не знаю, мені важко сказати.

16) Очевидно відповідь була б не така проста, бо мусив би бути перехід від одного класу універсальності до іншого і фазова діаграма була би складнішою, була б залежність така концентраційна. Але водночас задача цікава, бо дійсно, якщо феромагнітний перехід, то б дійсно була б така конкуренція, доповнення. Тобто я веду до того, що ця відповідь більш-менш зрозуміла, а для складнішої моделі не така очевидна.

17) Перше, один з висновків я б хотів відмітити. Він стосувався того, що використання цієї методології нулів статсуми. Він показує кращу збіжність порівняно з традиційними методами дослідження скейлінгової поведінки. Цей результат десь зафіксовано? Чи це Ваш результат? Чи можливо він вже іншими спостерігався?

Відповідь: Можливо я погано висловилася, вони показують непогану збіжність, і те, що я згадувала для Монте-Карло симуляцій це в залежності як для якої моделі вони працюють, краще чи гірше. Вони працюють для точного представлення чи для розкладеного представлення статсуми.

18) Тобто такого загального висновку зробити не можна?

Відповідь: Інші це теж спостерігали, ми просто це підтверджуємо. Для деяких систем, чи для деяких видів нулів, це буде працювати краще. Ми бачимо, що для нулів Лі Янга є дуже хороші асимптотики, навіть для систем маленького розміру. А для нулів Фішера і в площині кристалічного поля, насправді, ці асимптотики ми отримуємо дещо гірші.

19) Я б також хотів запитати про комп'ютерні симуляції. Тобто, це бралася гратка квадратна, так?

Відповідь: Ми не виконували комп'ютерні симуляції, комп'ютерні симуляції виконувала група Бертрана Берша з Нансі та із Нікосом Фітасом із Ковентрі. Вони брали двовимірну або тривимірну гратку і розглядали спінову модель, розглядали теж нулі Лі Янга і Фішера і кристалічного поля.

20) Мене цікавить, насамперед, які граничні умови брались? Бо Ви тут розглядаєте модель всі із всіма. Тут були гранично-періодичні умови чи вільні?

Відповідь: В них були гранично-періодичні. Але знову ж таки, комп'ютерні симуляції для більших систем дають і більшу похибку, і те, що вони спостерігали – те що вони отримують кращі результати для систем дуже маленького розміру. Так я не пригадую точно, але приблизно для 8-10 частинок. Це так тривіально але не тривіально, якщо це доведено і справджується це корисно тому, що ми знаємо очікувані результати, оскільки ці характеристики пов'язані із певними критичними показниками, які вже відомі із теорії. Якщо б ми не мали цих експериментальних значень для критичних показників, то б теж було важко сказати і відслідковувати те, що ми отримуємо.

21) Я би хотів трошки перефразувати питання Михайла Павловича в який спосіб, що є фактично отой приклад по містах, то є скінченна мережа. Зрештою і міст, де є фізики, є обмежене число і мережа обмежена, але чи можна очікувати від такого конкретного застосування теорії мереж якісь корисний практичний вислід?

Відповідь: Ну, наприклад, як я вже згадувала, що сформувався певний якийсь потужний кластер авторів, і ці автори постійно публікують статті у даному журналі і було варто звертати увагу власне на ті публікації з тих місць, які з'явилися доволі давно або з'явилися тільки раз і зникли, тобто в ідеалі редакція мала б контактувати з цими групами.

23) Це питання дуже цікаве, яке задав Мирослав Федорович, бо коли ми працюємо зі скінченновимірною системою, то в ній в принципі не може бути розподілу степеневого, чому, тому що має бути нормований розподіл і є скінченне число елементів, і має бути функція обривання на далеких хвостах, маємо мати інтеграл. Якщо це функція розподілу, яка додає

відповідну константу, якщо нормований на одиницю, наприклад. Мені цікаво, чи такі задачі на мережі з врахуванням необхідності модифікацій розподілу при кожному N ставились іншими?

Відповідь: Я знаю, що розглядали і досліджували критичну поведінку для моделі Ізінга теж для системи різних розмірів, тобто досліджували ефективну поведінку із зміною N , насправді ми це теж можемо робити, оскільки як я казала. Ми спрямовували наше N до безмежності, якщо покласти достатньо велике, навіть скінченне, ми б могли спостерігати схожі ефекти як я спостерігала для критичної поведінки у цих розділах.

24) Навіть у цих виразах Ви бачите, що N є скінченне - воно велике, але скінченне. Але ці вирази отримані в такий спосіб, що Ви використали вже розподіл.

Відповідь: Так. У нас власне тут і виходять ці розбіжні доданки, бо я спрямувала N до безмежності.

25) Тобто, я веду до того, що теоретично в таких задачах можуть виникати додаткові члени, які зв'язані з тим, що потрібно мати на увазі, що розподіл залежить від N в певний спосіб.

Відповідь: Так, так вірно.

26) Йшла мова про нулі Лі Янга. Ця типова картинка це коло таке гарне, яке зрештою, мабуть, є результатом симетрії так як входить поле зазвичай лінійно, як лінійний член. Мені цікаво чи є роботи, в яких оця топологія є складніша?

Відповідь: Загалом так, я зустрічала роботи в яких спостерігаються кілька таких різних симетричних кіл, але якщо ці нулі розташовані не симетрично на колі, тоді це сигналізує про фазовий перехід першого роду, тобто, про стрибок у параметрі порядку. Навіть вже з аналізу нулів статсуми можна зробити висновок про критичну поведінку.

Д.ф.-м.н., професор, завідувач відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем Я.М. ІЛЬНИЦЬКИЙ:

1) Я б хотів запитати таку річ. Чи могли б Ви для цієї моделі Поттца з невидимими станами навести простий приклад, яку систему чи соціальну чи фізичну і як можна інтерпретувати в тому випадку невидимі стани, і чи можна якесь явище передбачити чи пояснити з такої фазової поведінки для тої системи. Мені здається, то би було цікаво, якщо таке щось є.

Відповідь: Ну я розпочну коротко відповідь, що є певні роботи - редуковані чи невидимі стани із наявністю домішок у класичних моделях магнетиків, а що стосується поведінки в соціальних моделях, то це можуть бути внутрішні стани індивідуума, які володіють упередженістю чи не упередженістю до прийняття того чи іншого рішення, і які можуть не висловлювати своє рішення публічно. І якісь інші вузли в системі - вони комунікують і, відповідно, мають відому напрямленість цієї внутрішньої поттцівської змінної, які беруть участь у взаємодії і відповідно у поширенні такої соціальної думки.

2) Я тут би хотів запитати чи є тут якийсь граничний перехід до моделі Ізінга у простій квадратній ґратці, якщо Ви виберете лямда і мю? Тобто я мав на увазі на кубічній ґратці.

Відповідь: По-перше, цей діапазон чотири, характеризується показниками середнього поля, тобто, і для звичайної моделі Ізінга теж. При μ чи λ рівне п'яти ми отримаємо стандартну поведінку Ізінга на кубічній гратці. Ну і для чотиривимірної моделі Ізінга, ми отримаємо аналогічні показники, якщо покладемо μ або λ рівне п'ять. А покладаючи μ чи λ від трьох до п'яти ми отримуємо поведінку моделі Ізінга від двох до чотирьох вимірів.

3) Мені здається, що було б добре виділити такі граничні випадки, можливо вони є в роботі, але було б добре, щоб вони були як певні такі граничні випадки. Дякую.

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

1) Я б хотів би запитати, який фізичний зміст параметрів m_1 , m_2 -- це середнє значення спіна, так?

Відповідь: Так. m_2 це побічний параметр, який у нас виник і якщо m_1 , як Ви правильно зауважили це є наша стандартна намагніченість, то параметр m_2 поводить себе так, що він не занулюється при будь-якій температурі. В рамках наближення середнього поля модифікованого, у якому ми працювали, ми досліджували і брали до уваги ці два параметри, а насправді фізичний зміст має тільки цей один параметр m_1 .

2) Ці комплексні температури, комплексне магнітне поле, комплексне кристалічне поле, як це можна собі фізично уявити. Чи є якась фізична модель, яка б описувалася комплексними температурами, полями?

Відповідь: Загалом нулі Лі Янга були запропоновані для опису моделі граткового газу, тобто нулі в площині комплексного магнітного поля певним чином поєднуювали з хімічними потенціалами системи, але більш детально я зараз пригадати не можу. А щодо фізичного змісту багатьох цих величин, то іноді його і не існує, наприклад є роботи, які покладають комплексні значення для q поттсівської змінної кількості станів, бо що таке може бути комплексне значення для змінної станів? Люди експериментують з цими різними параметрами, але, насправді, не всі мають фізичну інтерпретацію.

3) Я хотів запитати таке. От є електромережа України. За якою класифікацією, яка була на перших слайдах, до якого типу електромереж можна її віднести і чи можна Вашу теорію якось до електромереж застосувати, щоб оцінити стійкість до ракетних атак.

Відповідь: Тут відповідь не зовсім однозначна. В ідеалі, якщо ми маємо повний граф, де всі вузли з'єднані з усіма, тоді така мережа буде найстійкішою до атак, але, як ми казали, багато природних систем характеризуються функцією розподілу зі степеневим-спадним законом за ступенем вузлів, але такі мережі є дуже нестійкі до навмисного вилучення вузлів. Що важливо – чому мережі www є стійкими? Тому що вони описуються степеневими законами, але цей показник λ для них є менший ніж два. Коли я говорила про критичну поведінку моделі Ізінга, я казала, що фазовий перехід при малих λ відсутній і система залишається впорядкованою при будь-якій скінченній температурі. Тобто, якщо система характеризується

ступенево-спадним розподілом і показник лямбда доволі малий, то вона буде дуже стійкою, потрібно вилучити 90 відсотків вузлів, щоб в такій системі не існувало гіганської зв'язної компоненти. Ще одне, коли ми говоримо про електромережі і всі інші, то тут я розглядала незважені мережі, тобто всі вузли мали однакову вагу і зв'язки мали однакову вагу, але коли ми говоримо про мережу електростанцій, то є різна потужність, є різна кількість населення, яке вони можуть обслуговувати, можлива просторова орієнтація у просторі, там значно більше характеристик...

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

1) Чи правильно я розумію, що для відношення критичних амплітуд ви використовували метод ренорм групи, так?

Відповідь: Ні, не використовувала. Я використовувала вирази для вільної енергії отримані в попередньому розділі. Із доданків розкладу ми зберігали перші два провідні члени розкладу, після цього я відповідно беручи похідні від вільної енергії отримала вирази для намагніченості, тощо.

2) Тобто Ви розраховували окремо відношення плюс, мінус і тоді самі амплітуди універсальні, а тоді брали відношення, так?

Відповідь: Я мала вирази для кожної зі змінних, після цього я знаю відношення для критичних амплітуд і я не рахувала безпосередньо.

3) Самі універсальні характеристики теж можна порахувати?

Відповідь: Так можна порахувати, але деякі доданки взаємоскорочуються і не потрібно робити додаткову математичну роботу. Я не підраховувала ці коефіцієнти, а підставляла у формули самі відношення.

Д.ф.-м.н., старший науковий співробітник, В.В. ІГНАТЮК:

1) Якщо можна покажіть гамільтоніан на першій сторінці. Якщо б я глянув на цей гамільтоніан очима квантової механіки вважаючи, що це квантовий гамільтоніан, то квадрат спіна не зберігається, він комутує з тим гамільтоніаном. В той час коли проекція спіна не зберігається, не комутує. І далі я просто дивився на ті рисунки які ви наводили, зокрема коли дельта = 0 – це у вас критична поведінка, а не дорівнює нулю – трикритична поведінка. Я б собі міркував так: що коли у вас є якась взаємодія, яка визначається інтегралом руху збереженою величиною, то у вас принципово змінюється і термодинаміка. Чи можна такий висновок робити і чи можливо якась інша модель де є взаємодія в якій доданок інтегралу руху є збереженою величиною міг би приводити до подібного результату як у вас. Що коли дельта рівне 0 – одна термодинамічна поведінка, не рівне нулю – інша. Тобто, є інтеграл руху в гамільтоніані взаємодії коли поведінка змінюється?

Відповідь: Дякую за коментар. Єдине, що така критична поведінка – це в околі критичної точки дельта рівне 0. Але схожа критична поведінка спостерігається і при дельта не рівне 0. Насправді

я намалювала тут фазову діаграму для моделі Блюме-Капеля і ми розраховували ці критичні показники в різних ділянках. Тут є цілі лінії комбінації температури і дельта. І щодо квантових ефектів, тут я на жаль не можу прокоментувати.

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

1) Мені не тільки в цьому розділі, але і в цілому було цікаво. У Вас у заголовку ідеться про колективну поведінку. В цьому розділі було найбільше. Але що можете про це сказати, то колективна поведінка про що це? Чи дійсно те, про що Ви розказуєте, чи є щось інше?

Відповідь: Ну, наприклад, на базі мереж цих наукових концепцій можна судити, що колективна поведінка це.

2) Я вибачаюсь, я до заголовку.

Відповідь: Колективну поведінку ми розуміємо більше у співвідношенні до соціальних мереж. Перші приклади були мережі співпраці між містами України, це є свій тип колективної поведінки. Як формується ця соціальна мережа, чи мають тенденції автори з різних міст об'єднуватись для написання спільних публікацій чи все таки вони сфокусовані в межах своїх наукових груп для дослідження у своїх групах. Тобто, наскільки така мережа зв'язана чи не зв'язана, який розмір цієї зв'язної компоненти – можна говорити в цьому сенсі про колективну поведінку. Те, що стосується вибору понять, то ми розглядаємо статті і концепції як якісь не зв'язані між собою, але, насправді, в будь-якій теорії науковій існує такий момент, коли з'являється нове поняття, яке спочатку буде не цитоване, але з часом воно починає з'являтися в інших статтях все частіше і частіше. Це теж може свідчити про виникнення колективних ефектів.

Д. ф.-м. н., заступник директора з наукової роботи, Т.М. ПАЦАГАН:

1) Так, щоб орієнтуватися. Ці моделі, ці підходи чи вони використовуються для аналізу? Чи кимось проводились такі аналізи на основі даних українських журналів?

Відповідь: Я знаю, що для журналу нашого інституту Condensed Matter Physics Олеся Мриглод дуже багато проводила таких досліджень. Зокрема, Олеся проводила аналіз публікацій конференцій МЕСО і її динаміку і світі існує дуже-дуже багато аналізів співавторства публікацій, цитування, тощо. Це не є якась новизна, але це є застосування, методів теорії мереж до конкретних емпіричних даних в цьому розділі, бо всі попередні розділи були більше аналітичними-теоретичними, а тут є робота із реальними даними. А що стосується мереж наукових концепцій, то такі семантичні мережі досліджують, є різні дослідження, але що важливо, тут були запропоновані дві моделі, два алгоритми побудови чи рекомендаційні схеми для побудови таких мереж, які краще б відповідали експериментальним даним.

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

1) От Ви провели такі дослідження на основі Журналу Фізичних Досліджень. А якщо би щось подібне зробити на основі нашого журналу. Чи можна було б, порівнюючи ці дані, зробити якісь висновки про роботу редколегії обох журналів?

Відповідь: Аналіз даних нашого журналу вже виконувався. Не зовсім в такому форматі, але для порівняння роботи редколегій можна було б розглядати, наприклад: у нас є багато запрошених випусків, так? І є специфіка цих двох журналів, у нас багато авторів іноземців, якщо тут більшість авторів статей з України, іноземні автори склали 81 із 1000. Можна було би судити про співпрацю порівнянно із співпрацею іноземної ефективності і співпрацею в межах України. Цікаво було би дослідити тяглість, що Ви кажете, це, по суті, також є робота редколегії: час від часу нагадувати чи стимулювати авторів подавати статті в цей журнал, щоб це не було просто випадковим чином опублікована стаття, щоб була своя якась певна аудиторія.

3. ВИСТУПИ ПРИСУТНІХ

З оцінкою дисертаційної роботи “Колективна поведінка на складних мережах: фундаментальні аспекти та застосування” Мар’яни Богданівни КРАСНИЦЬКОЇ, наукового співробітника Лабораторії статистичної фізики складних систем, виступили рецензенти:

1. Д.ф.-м.н., **М.П. КОЗЛОВСЬКИЙ**: Я не перший раз слухаю цю роботу і, як на сьогодні, я можу констатувати, що робота є завершена, робота є цільна і ми абсолютно можемо її рекомендувати як докторську дисертацію. Особливо мені подобаються оці розділи, які пов’язані із запропонованою авторкою моделлю Ізінга зі змінною довжиною спіна. Це дуже перспективна галузь діяльності і теж родзинкою є те, що виявлено цілий клас моделей, які мають і верхню і нижню вимірність, це теж дуже цікаво, і теж дуже корисно. Загалом Мар’яна гарно все розказала, єдине, що я можу сказати, що ми би мали рекомендувати цю роботу як докторську.

2. Д.ф.-м.н., **М.А. ШПОТ**: Я також хочу підтримати цю роботу як докторську і рекомендувати її до захисту. Хочу відзначити, що розглядаються різні непрості моделі на різних нетривіальних просторових структурах. При цьому використовуються різні методи, не дуже пов’язані між собою, і це все прив’язується до ‘життєвих’ моделей, таких як соціальні мережі чи мережі електростанцій. На мою думку, все це дуже корисно, цікаво, і гідне захисту докторської дисертації.

3. Д.ф.-м.н., професор, завідувач відділу **Я.М. ІЛЬНИЦЬКИЙ**: Вже багато було сказано добрих оцінок у бік доповіді Мар’яни, її роботи як науковця сформованого. Я хочу таке сказати: у Німеччині це є титул доктора габілітованого. Габілітація полягає в тому, що людина робить демонстраційну лекцію наскільки вона є сформованою, як викладач, наскільки вона може

якісно пояснити предмет і зробити цю лекцію цікавою. А цей сьогоднішній виступ хочу проінтерпретувати, де видно абсолютно сформовану наукову особистість. Яка, як вже було сказано, простими засобами і тим не менше глибоко, бо ті запитання, які були треба було довго відповідати, а Мар'яна була готова це робити, але звісно є обмежений час. Я хочу сказати, що доповідь була зразком якою має бути доповідь і доброю, щоб повчитись можна було і молодшим, і старшим. В цій роботі поєднано два такі магістральні зацікавлення, які ідуть від Юрія Васильовича і від його школи – це складні мережі і магнітні системи. Тут вони гарно перехрещуються і знаходиться цікава взаємодія і нові ефекти, зокрема, модель Ізінга із змінним спіном. Як на мене це якесь таке логічне узагальнення, що дивно, чому давно такого ніхто не запропонував і добре, що такі роботи зроблені у нас. Мар'яна – це є хороший приклад того, що та школа, яку вона отримала у нас в Інституті (і далі та школа була розвинута у Франції у співпраці з Бертраном Бершем), вона увібрала той досвід і вона тепер його має, може його далі поширювати і використовувати сама. Щоб багато не говорити, я хочу сказати, що робота є дуже цілісна, це не є робота еkleктична. Тут все пронизано одною гарною ідеєю за задачами, за методами, за аналізом, є гарно виконаною. Хочу підтримати цю роботу, побажати Мар'яні, щоб усі стадії ішли гарно і легко, і привітати її і наукового консультанта з дуже гарною роботою.

З оцінкою дисертаційної роботи виступили також присутні на фаховому семінарі:

1. Д.ф.-м.н., головний науковий співробітник, **М.В. ТОКАРЧУК**: Ми завжди слухали Мар'яну на різних виступах на конференціях, на семінарах, вона дуже складні речі може подати просто, а це дуже важливо. Це означає, що вона глибоко розуміє ті проблеми, які розв'язує. Звичайно, що і по публікаціях і по здобутках це є дисертаційна робота і я думаю, що ми можемо рекомендувати її до захисту.
2. Д.ф.-м.н., завідувач відділу статистичної теорії конденсованих систем, **М.Л. ДУДКА**: Як один із співавторів Мар'яни хочу сказати, що з Мар'яною добре працюється, вона відповідальна і при цьому критична до власного внеску і, як бачимо із сьогоднішнього виступу, вона має цікаву нішу – складні мережі та отримала нові результати. Мало того, що нові, вони ще і цікаві, їхня інтерпретація може бути застосована як до систем чисто фізичних так і не фізичної природи. І ці результати цитуються у світі дуже добре. Так само бачимо із сьогоднішнього виступу, що Мар'яна може дуже гарно підготувати, представити і пояснити свої результати. З цього всього видно, що робота цілісна, гарна і я би теж рекомендував усім, щоб ми підтримали Мар'яну як доктора.
3. Д.ф.-м.н., провідний науковий співробітник, **І.В. ПИЛЮК**: Я теж хочу сказати декілька слів про роботу Мар'янки і підтримати її. Робота цілісна, заслугоє уваги, структура роботи відповідає назві, в роботі було висвітлено аналітичні методи досліджень, також було проведено низку важливих числових результатів, мені особливо імponує розділ, де розглянуто скейлінгові функції на складних мережах. Ми цю роботу детально розглядали на семінарі відділу. І результати досліджень Мар'яни опубліковані у хороших рейтингових журналах. На мою думку робота відповідає вимогам, які ставляться до захисту докторських дисертацій і ця робота може бути винесена на захист, так що я вітаю Мар'янку і наукового консультанта.

4. Д.ф.-м.н., старший науковий співробітник, **А.С. ВДОВИЧ**: Ці розділи, де були випадкові вузли із змінним спіном, їх можна застосувати для опису сегменту електриків типу лад-безлад з домішками і ефектами, якщо так трошки модифікувати модель і з тієї точки зору ці задачі є дуже актуальні і я підтримую також. Дякую!

5. Д.ф.-м.н., провідний науковий співробітник, **О.В. ПАЦАГАН**: Мені сподобався виступ Мар'яни і сама робота, яку вона представила. Робота завершена, дуже добре опублікована. І тут було таке питання Андрія Дмитровича відносно колективної поведінки в назві. То колективна поведінка, коли іде мова про критичні явища, і самі критичні явища, і поняття мережі, то це все іде під гаслом критичної поведінки. Так що все тут добре. Бажаю тільки успіхів Мар'яні.

6. Д. ф.-м. н., академік НАН України, головний науковий співробітник **І. М. МРИГЛОД**: Ми побачили цікавий клас задач, які мають перспективу розвитку, в тому числі для об'єктів, які для нас не є традиційними, включаючи такі навіть не фізичні об'єкти. Поряд з тим результати, які отримані, мені здається, вони стимулювали і будуть стимулювати низку нових досліджень, бо в особисто в мене виникло багато запитань, які стосуються математичних обґрунтувань тих чи інших підходів до опису таких складних систем. Питання про термодинамічний розгляд... і давно в мене таке питання є, чи термодинаміка застосовна в повному обсязі до таких систем із замороженим безладом, і в якій мірі вона не застосовна. Є питання до скінченно-вимірної скейлінгу і застосування певних розподілів, які забезпечують нормування і інші питання. Але загалом результати отримані дуже цікаві, вони опубліковані належним чином. Мар'яна не один раз представляла ці результати на різного рівня конференціях і от сьогодні, зокрема, на семінарі можемо засвідчити, що її з року в рік викладацька майстерність зростає. Як говорив Ярослав Миколайович габілітація на заході сприймається як опція, яка дозволяє кваліфікованому вченому працювати вже з учнями. Тобто, я бажаю Мар'яні розвивати і цей вид діяльності зокрема в цій спільноті L4, бо працюючи з учнями можна віддати їм частину ідей, які отримують належний розвиток. З формальної точки зору всі вмоги до дисертаційної роботи мені видаються виконаними і я цілком підтримую всі попередні рекомендації і робота заслуговує, щоб її належним чином представлено і з врахуванням дрібних побажань, які звучали, представляти на спецраду. І бажаю Мар'яні і Юрію Васильовичу наступних успіхів.

Виступаючи при обговоренні дали позитивну оцінку дисертаційній роботі, підтвердили актуальність розв'язання наукового завдання: дослідження колективної поведінки на складних мережах. Представлена дисертаційна робота М.Б. КРАСНИЦЬКОЇ відповідає кваліфікаційним вимогам, відповідає спеціальності 01.04.02 – “теоретична фізика” і може бути рекомендована для подання до розгляду та захисту у спеціалізованій вченій раді з урахуванням правок рекомендованих семінаром. Присутні на засіданні обговорили проект висновку, підготовлений рецензентами: д.ф.-м.н., головним науковим співробітником **М.П. КОЗЛОВСЬКИМ**: д.ф.-м.н., старшим науковим співробітником **М.А. ШПОТОМ**, д.ф.-м.н., завідувачем відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем **Я.М. ІЛЬНИЦЬКИМ**.

З характеристикою дисертанта виступив науковий консультант, д.ф.-м.н., академік НАН України **Ю. В. ГОЛОВАЧ:**

Дякую! Я дякую Мар'яні за доповідь, дякую всім вам за обговорення. Про роботу казати не буду, а от про того хто виконував цю роботу, про її освіту. Робила вона свою роботу в університеті з професором Ткачуком, а тоді прийшла до нас і далі вчилася у нас, від Вас усіх, від тих хто працює в Інституті, а потім її така форма навчання, а потім роботи, яку ми називаємо співпраця Л4. Дехто це сприймає як спільна аспірантура, дійсно так було, вона півтора року була у Франції має диплом французького доктора, але це триває дотепер. Значна частина тих результатів, які вона розповідала, це далше та співпраця Л4. Це що стосується нулів, це щотижневі семінари, нас чотири-п'ять, раніше було на одного більши доки Ральф не відійшов від нас. Ми весь час разом, обговорюємо, Мар'яна вчила молодших аспірантів, які приєднувались до нас і так та робота робиться. Сама задача як виникала, Ярослав Миколайович гарно сказав, що магнетизм і мережі між собою об'єднані, то вона виникала я без сумніву бачу від Ігоря Рафаїловича. Особисто я слово «Ізінг» почув від Ігоря Рафаїловича, пам'ятаю у якому контексті і в якому місці це було, і коли я прийшов в Інститут це була модель Стенлі. Складні мережі, цікаві особисто для мене, і потім я пояснюю тим колегам, які працюють зі мною, – від Крістіяна Комперда, він знайшов цю тематику, і ми почали робити для транспортних мереж з Тарасом Головачем і з Василем Пальчиковим. А далі природньо виникло: а от дивіться ми знаємо мережі, ми знаємо спінові моделі, вже в світі роблять спінові моделі на мережах, то давайте і ми будемо робити. І далі пішло «ми». Я думаю Ви звернули увагу, що інколи буває, що людина самотійно, чи інколи удвох, іде в одному напрямку, у Мар'яні це як перевага, вона працювала над темами в різних групах тому вона себе не втрачала, це був цілісний напрямок, вона співпрацювала із Петром Сарканичем, Юліаном Гончаром, Олесею Мриглод, Максим Дутка сказав, що є співавтором у неї, які мають спільні роботи із Хуаном Руїз Лоренцо. Вона оволоділа багатьма методами, деякими методами вона оволоділа трошки, вона згадувала ренормгрупу, якщо б мене спитали чи знає вона добре теоретико-польову ренормгрупу – так вона знає! Вона нею оволоділа, але це не є головний її напрям. Вона робила чисельні симуляції, вона тричі була у Іспанії у Руїз-Лоренцо, і він є номером один чи одним із номерів один по комп'ютерній симуляції. Мар'яна з ним співпрацювала і також трошки оволоділа цим методом, знову ж таки це не є її магістральний метод. Для мене її магістральний метод це нулі. Дійсно вона ними добре оволоділа, неоднорідне середнє поле – точні розв'язки. Вона ним точно оволоділа і робота з базами даних тут більше заслуга Василя Пальчикова, Олесі Мриглод. Тобто дуже багато методів... І тепер я приводжу до такого загального погляду... я підтримую те що казали колеги і прошу Вас підтримати і проголосувати за те, щоб підтримати цю дисертацію, яка може заслуговувати як така, що може подаватися на спеціалізовану Вчену раду. І мені виглядає, що є така сформована дослідниця, яка багато навчилася, яка поїхала в світ з Козьови через Львів до Парижу, до Ковентрі, до Берліну, до Іспанії, до Греції...у масу місць. Вона знає багато методів, вона знає англійську мову, вона працює з комп'ютерними симуляціями, і те що вона робить зараз – це є в науці про дані, яка зараз є дуже популярною і безпосередньо застосовується. І тепер з тим всім у руках вона сміло може іти у майбутнє, я б хотів, щоб це було

і наукове майбутнє, я бажаю Вам того, але якщо це буде не наукове майбутнє, то бажаю Вам світлого майбутнього. Тут ще є кілька задач, які тут не згадувались, які у дисертацію не увійдуть. Є ті задачі, які ми почали з берлінською групою з вивчення колективної поведінки біологічних об'єктів. Потім є одна задача, яка перекрила Мар'яні шлях, щоб мати опонентами Володимира Ткачука чи Христину Гнатенко, бо у неї є спільна публікація з ними – задача на квантових графах. Тобто, ще є такі задачі, які не увійшли у дисертацію. Дякую колегам за співпрацю з Мар'яною і Мар'яні дякую.

4. ЗАСЛУХАВШИ ТА ОБГОВОРІВШИ ДОПОВІДЬ Мар'яни Богданівни КРАСНИЦЬКОЇ, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на фаховому семінарі Інституту фізики конденсованих систем НАН України, прийнято наступні висновки щодо дисертаційної роботи “Колективна поведінка на складних мережах: фундаментальні аспекти та застосування”.

Висновок
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
“Колективна поведінка на складних мережах: фундаментальні аспекти та застосування”
здобувача ступеня доктора фізико-математичних наук Мар’яни Богданівни
КРАСНИЦЬКОЇ
за спеціальністю 01.04.02 – “теоретична фізика”

4.1. Актуальність теми дисертації

Фізики почали аналізувати мережі лише нещодавно — перші статті датуються кінцем 1990-их років. Мета досліджень змінилася від аналізу невеликих графів та властивостей окремих вершин і ребер до розгляду статистичних властивостей цих графів (мереж). Зі зміною мети змінилися й методи аналізу. Народження “науки про мережі” відбулося внаслідок розвитку комп’ютерних технологій та засобів обробки великих масивів даних.

На сьогодні в мережевому формалізмі прийнято описувати взаємодії, що змінюються з часом, стохастичні взаємодії, взаємодії, що виникають на декількох рівнях і не вбудовані в евклідовий простір. Якщо додати можливість задавати різні стани для кожного агента-вузла, то стає зрозумілим успіх використання складних мереж як своєрідної *lingua franca* науки про складні системи.

Дослідження колективної поведінки на складних мережах є надзвичайно важливим для розуміння процесів у багаточастинкових системах. Актуальність вивчення колективної поведінки зумовлена необхідністю вирішення низки фундаментальних та прикладних проблем, що виникають у сучасному світі. Традиційні методи аналізу складних систем базуються на спрощених припущеннях, часто не здатних описати складну специфіку та структуру реальних мереж, або обмежені застосуванням лише в одній галузі знань, тому виникає потреба в розробці нових моделей та підходів. Саме тому все частіше застосовують міждисциплінарні підходи та узагальнені моделі для вивчення складних мереж і виявлення прихованих закономірностей. Важливим, а часто й визначальним, елементом таких підходів є застосування методів і концептуального апарату фізики, зокрема статистичної фізики та фізики фазових переходів.

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

Дисертаційна робота виконана в Інституті фізики конденсованих систем НАН України, із науковою тематикою якого пов’язаний вибраний напрямок досліджень. Подані в дисертації результати отримані згідно з наступними проектами: FP7 EU IRSES, № IRSES project №612669 “Structure and Evolution of Complex Systems with Applications in Physics and Life Sciences

(STREVCOMS)” (2015–2017); IRSES Project №612707 “Dynamics of and in Complex Systems” (2014–2018); Плани робіт у рамках бюджетних тем НАН України “Методи і моделі статистичної фізики для опису виникнення структур та пояснення скейлінгу у складних системах” (2018–2022 рр., номер держреєстрації 0118U003012); Теми “Багатомасштабність і структурна складність конденсованої речовини: теорія і застосування” (2012–2016 рр., номер держреєстрації 0112U003119) та “Нові концепції статистичного опису і їх застосування у теорії багаточастинкових систем” (2017–2021 рр., номер держреєстрації 0117U002093); 2017–2018: Проєкт НФДУ №76/105-2017 “Концепція складних мереж у задачах квантової фізики та космології” (0117U003869) (у співпраці з Астрономічною обсерваторією та кафедрою теоретичної фізики Львівського національного університету імені Івана Франка); Грант від Польської АН-НАН України для короткострокового стажування у Польщі (2018 р.); 2020–2021: Проєкт НФДУ №2020.01/0338 “Комп’ютерне моделювання та теоретичні підходи до опису поширення інфекції COVID-19: роль просторової неоднорідності населення, гетерогенності мережі соціальних контактів та соціальної реакції”; Проєкт НАНУ для молодих вчених №07/01-2022(4) “Макромолекулярні утворення як складні системи: комп’ютерне моделювання та аналітичні підходи” (2022–2023); Грант для короткострокового стажування у Франції PAUSE programme (2022–2023); Проєкт НФДУ 023.03/0099 “Критичність складних систем: фундаментальні аспекти та застосування”.

4.3. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

У 13 роботах, виконаних спільно зі співавторами, здобувачці належить:

- отримання аналітичних виразів для статистичної суми та вільної енергії моделі Поттса з невидимими станами на повному графі [1];
- аналіз мережі співавторства ЖФД в Україні [2];
- результати розділу: Універсальність, нулі статистичної суми й порушення теореми Лі–Янга для моделі Ізінга на безмасштабній мережі [3];
- отримання аналітичних виразів статистичної суми та вільної енергії моделі Поттса з невидимими станами на безмасштабній мережі [4,9];
- аналітичні розрахунки фазової діаграми моделі Ізінга зі змінною довжиною спіна [5,8];
- обговорення особливостей мережі наукових концепцій на базі препринтів 7 ArXiv. Відбір загальних і специфічних концепцій [6,7];
- написання розділів 1, 2 та 4 у статті [10];
- отримання функціонального представлення вільної енергії структурно-невпорядкованого магнетика. Аналіз асимптотичної та ефективної критичної поведінки замороженої (quenched) суміші двох магнетиків [11];
- вибір моделі для комп’ютерної симуляції феромагнітного впорядкування у випадковій суміші двох магнетиків. Тестові симуляції структурно-впорядкованої 3D моделі Ізінга [13];
- отримання аналітичних виразів для точного та розкладеного представлення статистичної суми моделі Блюма-Капеля на повному графі. Аналіз нулів для

наближеного представлення статистичної суми у комплексній площині [14].

Здобувачка брала безпосередню участь в обговоренні усіх результатів, опу- блікованих у спільних дослідженнях.

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

Для узагальнення моделі Ізінга зі змінною довжиною спіну на різних типах графів використовуючи наближення середнього поля було розраховано універсальні критичні характеристики фазового переходу другого роду, а саме - критичні показники, показники логарифмічних поправок, скейлінгові функції, відношення критичних амплітуд. Знайдено два нові класи універсальності для логарифмічних поправок моделі на відпаленій безмасштабній мережі. Для цієї ж моделі на тривимірній ґратці отримано представлення для ефективного гамільтоніана (який належить до класу універсальності розведеної моделі Ізінга), а також, застосовуючи теорію ренорм-групи, знайдено асимптотичні та ефективні критичні показники. Отримані теоретичні результати підтверджено комп'ютерними симуляціями. Таким чином доведено, що домішки не обов'язково повинні бути немагнітними, щоб викликати однакові ефекти в критичній поведінці. Для моделі Блюма-Капеля вперше проаналізовано критичну поведінку на повному графі використовуючи формалізм нулів статистичної суми. Було застосовано методи теорії складних мереж для аналізу та візуалізації соціальної мережі співавторства авторів журналу та семантичної мережі понять. Показано як механізми росту мереж і їх динаміка реалізуються на практиці і до чого вони призводять, а також продемонстровано, як реальні мережі описуються запропонованими моделями при дослідженні колективних ефектів та структури самої складної мережі.

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

Для моделі Поттса з невидимими станами виявлено особливий тип критичної поведінки, що характеризується двома граничними значеннями числа невидимих станів, які відділяють різні типи впорядкувань. Вперше розглянуто модель на повному графі та на безмасштабній мережі у різних діапазонах параметрів. Показано, що додавання невидимих станів змінює неперервний перехід у моделі перколяції зв'язків на фазовий перехід першого роду.

Запропоновано нову спінову модель - модель Ізінга зі змінною довжиною (силою) спіна, що, зберігаючи симетрію спінів, враховує також можливість різної величини елементарного магнітного моменту. Показано, що впровадження спінів змінної довжини значно розширює фазову діаграму та зумовлює появу нових класів універсальності (для провідних значень критичних показників та показників логарифмічних поправок) у випадку, коли така модель

розглядається на складних мережах (повному графі, графі Ердоша-Рені та безмасштабній мережі).

Запропоновано нову модель структурно-непорядкованого магнетика, що належить до класу універсальності моделі Ізінга з розведеними вузлами. А саме, модель Ізінга зі спінами зі змінною довжиною, коли структурний безлад зумовлюється введенням не домішки (немагнітної компоненти), але іншого магнетика із відмінним значенням елементарного магнітного моменту.

Вперше здійснено опис і проаналізовано ефективну критичну поведінку моделі Ізінга зі змінною довжиною спіна на тривимірній регулярній ґратці використовуючи теорію ренорм-групи. Виконано Монте-Карло симуляції для дослідження ефективної та асимптотичної критичної поведінки моделі з двома довжинами спінів, що підтверджують теоретичні результати.

Формалізм Лі-Янга-Фішера вперше застосовано для аналізу фазових переходів в моделі Блюма-Капеля на повному графі. Знайдено асимптотики координат нулів в околі критичної та трикритичної точки для наближеного предсталення статистичної суми в площині комплексної температури (нулі Фішера), комплексного кристалічного поля (нулі кристалічного поля) та комплексного магнітного поля (нулі Лі-Янга).

При аналізі мереж концепцій препринтів arXiv було показано, що широко використовувані мережеві моделі -- Ердоша-Рені та Барабаші-Альберта -- не можуть згенерувати мережу з бажаними властивостями, як у реальної системи. Було запропоновано просту генеративну модель, де зростання мережі концептів відбувається не тільки за рахунок додавання нових вузлів і приєднання їх до вже існуючих у графі, а й за рахунок появи нових зв'язків між раніше існуючими вузлами. Показано, що для отримання задовільних результатів у моделюванні таких явищ необхідно враховувати два механізми: і) зростання за блоками та ii) переважний вибір понять.

4.6. Перелік наукових праць, які відображають основні результати дисертації

За матеріалами дисертації опубліковано 38 наукових праць, з них: 12 статей у фахових наукових виданнях [1-12], 1 стаття [13] прийнята до друку та 1 стаття подана до друку і опублікована як препринт [14] та 24 тези конференцій [15-38].

СТАТТІ:

1. M. Krasnytska, P. Sarkanych, B. Berche, Yu. Holovatch, R. Kenna. Marginal dimensions of the Potts model with invisible states, *J. Phys. A: Math. Theor.*, (2016), 49, 255001.
2. Ю. Головач, М. Красницька, О. Мриглод, А. Ровенчак. 20 років “Журналу фізичних досліджень”: Спроба журналометричного аналізу, *Журн. фіз. дослідж.*, (2017), 21(4), 4001.

3. Ю. Головач, М. Дудка, В. Блавацька, В. Пальчиков, М. Красницька, О. Мриггод. Статистична фізика складних систем, Журн. фіз. дослідж., (2017), 22(2), 2801.
4. P. Sarkanych, M. Krasnytska. Ising model with invisible states on scale-free networks, *Phys. Lett. A*, (2019), 383(27), 125844:1–5.
5. M. Krasnytska, B. Berche, Yu. Holovatch, R. Kenna. Ising model with variable spin/agent strengths, *J. Phys. Complex*, (2020), 1, 035008.
6. V. Palchykov, M. Krasnytska, O. Mryglod, Yu. Holovatch. A mechanism for evolution of the physical concepts network, *Condens. Matter Phys.*, (2021), 24(2), 24001.
7. V. Palchykov, M. Krasnytska, O. Mryglod, Yu. Holovatch. Network of scientific concepts: empirical analysis and modeling, *Adv. Complex Syst.*, (2021), 21(1), 2140001.
8. M. Krasnytska, B. Berche, Yu. Holovatch, R. Kenna. Generalized Ising model on a scale-free network: an interplay of power laws, *Entropy*, (2021), 23(9), 1175.
9. P. Sarkanych, M. Krasnytska. Potts model with invisible states on scale-free network, *Condens. Matt. Phys.*, (2023), 26(1), 13507.
10. M. Krasnytska, P. Sarkanych, B. Berche, Yu. Holovatch, R. Kenna. Potts model with invisible states: a review, *Eur. Phys. J. Special Topics*, (2023), 1951–6401.
11. M. Dudka, M. Krasnytska, J. Ruiz-Lorenzo, Yu. Holovatch. Effective and asymptotic criticality of structurally disordered magnets, *J. Magn. Magn. Mater.*, (2023), 575, 170718.
12. M. Krasnytska. Ising model with varying spin strength on a scale-free network: scaling functions and critical amplitude ratios, *Condens. Matt. Phys.*, (2024), 27(3), 33603:1–10.
13. J. Ruiz-Lorenzo, M. Dudka, M. Krasnytska, Yu. Holovatch. Emergence of the 3D diluted Ising model universality class in a mixture of two magnets, *Phys. Rev. E*, (2024), accepted, arXiv:2411.16659.
14. Yu. Honchar, M. Krasnytska, Yu. Holovach, B. Berche, R. Kenna. Partition function zeros for the Blume-Capel model on a complete graph, *Low Temp. Phys.*, (2025), submitted, arXiv:2501.04452.

ТЕЗИ КОНФЕРЕНЦІЙ:

15. M. Krasnytska, B. Berche, Yu. Holovatch, and R. Kenna. Critical behavior on complex networks: inhomogeneous mean-field vs Lee-Yang-Fisher formalism. In 42nd Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics, page 27, Lyon, France, February 8-10 2017.
16. M. Krasnytska, P. Sarkanych, B. Berche, Yu. Holovatch, and R. Kenna. Marginal dimensions of the Potts model with invisible states. In 42nd Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics, page 119, Lyon, France, February 8-10 2017.
17. M. Krasnytska, B. Berche, and Yu. Holovatch. Ising model with power-law spin length distribution. In Christmas Discussions 2018, Department for Theoretical Physics, Ivan Franko National University of Lviv, page 10, Lviv, Ukraine, January 11-12 2018. 36

18. M. Krasnytska, B. Berche, and Yu. Holovatch. Ising model with a power-law spin length distribution on different graphs. In 43rd Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics, page 70, Krakow, Poland, May 1-4 2018.
19. М. Красницька, Б. Берш, and Ю. Головач. Модель Ізінга зі змінною довжиною спіна. In 18-та Всеукраїнська школа-семінар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, Львів, Україна, Червень 7-8 2018. Тези доповідей.
20. M. Krasnytska, B. Berche, and Yu. Holovatch. New critical behaviour in a complex system induced by two competing power laws. In Workshop on Current Problems in Physics, page 11, Lviv, Ukraine, July 3-4 2018.
21. Ю. Головач, Ю. Гончар, М. Красницька, and М. Дудка. Фізика і фізики в НТШ у Львові. In Різдвяні дискусії – 2019, кафедра теоретичної фізики ЛНУ ім. І. Франка, page 4, Львів, Україна, January 10-11 2019.
22. M. Krasnytska, B. Berche, Yu. Holovatch, and R. Kenna. Self-averaging on annealed networks. In 5th Conference on Statistical Physics: Modern Trends and Applications, dedicated to the 110th Anniversary of the Birth of M. M. Bogolyubov, page 40, Lviv, Ukraine, July 3-6 2019.
23. P. Sarkanych and M. Krasnytska. Ising model with invisible states on scale-free networks. In 5th Conference on Statistical Physics: Modern Trends and Applications, dedicated to the 110th Anniversary of the Birth of M. M. Bogolyubov, page 61, Lviv, Ukraine, July 3-6 2019.
24. P. Sarkanych and M. Krasnytska. Critical behaviour of the Ising model with invisible states on a scale-free network. In 45th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics, page 32, Online, September 14-16 2020.
25. B. Berche, M. Dudka, R. Folk, Yu. Holovatch, R. Kenna, M. Krasnytska, O. Myglod, P. Sarkanych, and J. Sznajd. Middle European Cooperation in Statistical Physics: a historical overview. In 45th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics, page 20, Online, September 14-16 2020.
26. M. Krasnytska and P. Sarkanych. Potts model with invisible states: critical behaviour on a scale-free network. In 46th International Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (MECO46), page 103, Online, May 11-13 2021.
27. М. Красницька and Ю. Головач. Модель Ізінга зі змінною довжиною спіна на безмасштабній мережі. In XXI Всеукраїнська школа-семінар і Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, page 18, Львів, Україна, Жовтень 11-12 2021.
28. M. Krasnytska and P. Sarkanych. Potts model with invisible states on a scale-free network. In 13th Workshop on Current Problems in Physics, page 11, Lviv, Ukraine, October 26-27 2021.

29. M. Krasnytska. Ising model with varying spin strength on a scale-free network: scaling functions and critical amplitudes ratios. In 47th International Conference 37 of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (MECO47), Online, June 12-16 2022.
30. M. Krasnytska. Degree vs strength: an interplay of power laws for the ising model on networks. In Statistical Physics and Low-Dimensional Systems – 2022, Pont-`a-Mousson, France, May 11-13 2022.
31. M. Dudka, M. Krasnytska, J. Ruiz-Lorenzo, and Yu. Holovatch. On the criticality of structurally disordered magnets. In DPG Meetings 2023, Dresden, Germany, March 20-24 2023. DY 49.2.
32. M. Krasnytska and P. Sarkanych. Potts model with invisible states on a scale- free network. In DPG Meetings 2023, Dresden, Germany, March 20-24 2023. DY 45.15.
33. M. Krasnytska, Yu. Holovatch, B. Berche, and R. Kenna. Ising model with vari- able spin/agent strengths on graphs. In DPG Meetings 2023, Dresden, Germany, March 20-24 2023. DY 45.15.
34. M. Krasnytska, P. Sarkanych, B. Berche, Yu. Holovatch, and R. Kenna. Potts model with invisible states, old and new. In 48th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (MECO48), page 57, Star´a Lesn´a, Slovakia, May 22-26 2023.
35. M. Krasnytska. Potts model with invisible states: changeover to the percolation transition. In SigmaPhi2023 Conference, Chania-Crete, Greece, July 10-14 2023.
36. М. Красницька, П. Сарканич, Б. Берш, Ю. Головач, and Р. Кенна. Модель Поттса з невидимими станами: огляд. In XXIII Всеукраїнська школа-семінар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсо- ваної речовини, page 16, Львів, Україна, Жовтень 26-27 2023.
37. Mariana Krasnytska, Petro Sarkanych, Yuriy Holovatch, Bertrand Berche, and Ralph Kenna. Invisible states Potts model. In Bogolyubov Kyiv Conference Problems of Theoretical and Mathematical Physics, page 40, Kyiv, Ukraine, September 24-26 2024.
38. Ю. Гончар, М. Красницька, Б. Берш, Ю. Головач, and Р. Кенна. Ефективна критична поведінка в моделі Блюме-Капля на повному графі. In XXIV Всеукраїнська школа-семінар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, page 35, Львів, Україна, Жовтень 24-25 2024.

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

Результати досліджень було представлено на таких конференціях: MECO41: 42-nd International Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (Lyon, France, 2017); Різдр'яні дискусії на кафедрі теоретичної фізики Львівського національного університету ім. І. Франка (2018, 2019); MECO43: 43-rd International Conference of the Middle European Cooperation in

Statistical Physics (Krak'ow, Poland, 2018); International 11th Workshop on Current Problems in Physics (Lviv, Ukraine, 2018); IX Scientific Conference “Selected issues of astronomy and astrophysics” (Lviv, Ukraine, 2018); 5-th Conference on Statistical Physics: Modern Trends & Applications (Lviv, Ukraine, 2019); MECO45: 45-th International Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (Hungary, online, 2020); MECO46: 46-th International Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (Latvia, online, 2021); 13th Workshop on Current Problems in Physics (Lviv, 2021); Всеукраїнська школа-семинар та Конкурс молодих вчених зі статистичної фізики та теорії конденсованої речовини, ІФКС НАН України, Львів (2018, 2021, 2023); MECO47: 47-th International Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (Sicily, Italy, 2022); Statistical Physics and Low-Dimensional Systems (Abbaye des Prémontrés – Pont-à-Mousson, France, 2022); PG Meetings 2023 (Dresden, Germany, 2023); MECO48: 48th Conference of the Middle European Cooperation in Statistical Physics (Stará Lesná, Slovakia, 2023); SigmaPhi2023 Conference (Chania-Crete, Greece, 2023); Bogolyubov Kyiv Conference “Problems of Theoretical and Mathematical Physics” (Kyiv, Ukraine, 2024); а також на семінарах Групи статистичної фізики Університету Естремадури (Бадахос, Іспанія), Групи статистичної фізики Університету Лотарингії (Нансі, Франція), Відділу конденсованої речовини Інституту низьких температур та досліджень структури (Вроцлав, Польща), Інституту теоретичної біології, Університету Гумбольдта в Берліні (Берлін, Німеччина), семінарах Інституту фізики конденсованих систем НАН України (Львів) та семінарах “Статистичної фізики складних систем” ІФКС 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

Застосування теорії колективної поведінки охоплює різні галузі: аналіз поширення інформації, динаміку формування громадської думки у соціальних мережах; задачі перколяції — дослідження стійкості до атак, поширення епідемій; оптимізаційні алгоритми, як-от пошук найкоротшого шляху; явища самоорганізації у біологічних системах тощо.

Розробка нових спінових моделей для дослідження колективної поведінки на складних мережах мотивована прагненням поглибити розуміння складних систем і явищ впорядкування, виходячи за межі традиційних підходів. Так, наприклад, нещодавно була запропонована модифікація моделі Ізінга (див. [5,8]), яка зберігає її бінарну природу, але послаблює обмеження щодо фіксованої довжини спіна на кожному вузлі. Основною метою цієї моделі є дослідження критичної поведінки на різних типах графів, що дозволяє аналізувати колективні явища у складних мережах. Особливу увагу приділено вивченню взаємодії між індивідуальними характеристиками спінів та глобальними топологічними властивостями графа. Впровадження індивідуальної сили спіна в модель дозволяє більш адекватно описати складну природу соціальних мереж і водночас знайти практичне застосування у маркетингу, політиці та теорії ігор. Як приклад міждисциплінарного застосування моделі можна розглядати нейронауку. Відомо, що когнітивні процеси залежать від структурної зв'язності мозку, а нейронна взаємодія

визначається складною взаємозалежністю геометрії та топології мозкових мереж.

Інше узагальнення моделі статистичної фізики — модель Поттса з "невидимими" станами — була розроблена для пояснення розбіжностей між теоретичними прогнозами та експериментальними спостереженнями критичної поведінки систем зі спонтанно порушеною Z_3 -симетрією, де спостерігаються фазові переходи першого роду. Це суперечить стандартним передбаченням для 2D моделі Поттса, яка для $q \leq 4$ передбачає фазові переходи другого роду. Модель з "невидимими" станами привернула значну увагу завдяки своїй здатності регулювати інтенсивність та рід фазових переходів шляхом зміни кількості невидимих станів, зберігаючи такі глобальні характеристики, як вимірність простору, діапазон взаємодії та симетрію. Гнучкість у регулюванні балансу енергії та ентропії робить цю модель потужним інструментом для вивчення критичних явищ у різних за структурою складних системах (див. огляд, наприклад, [10]). Дослідження цієї моделі на графах (див. [1,4,9,10]) є особливо важливим через її здатність описувати структури, характерні для багатьох природних і штучних систем, таких як соціальні, нейронні або технологічні мережі. Різні властивості графів, як-от їхня топологія, масштабованість або складність зв'язків, безпосередньо впливають на колективну поведінку системи та її критичні властивості. Зокрема, використання графів дозволяє моделювати взаємодії між вузлами з різною міцністю зв'язків та враховувати нерівномірний розподіл станів, що надає моделі універсальності для застосування в різних галузях — починаючи від фізики до теорії ігор і когнітивних наук.

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

Модель Поттса з невидимими станами, запропонована для пояснення розбіжностей між теорією та експериментами в 2D-системах із Z_3 -симетрією, таких як $\text{V}_{13}\text{Mn}_4\text{O}_{12}(\text{NO}_3)$, дозволяє налаштовувати інтенсивність та рід фазового переходу, зберігаючи вимірність і симетрію. Було показано, що невидимі стани перетворюють перехід у моделі перколяції зв'язків на фазовий перехід першого роду. Концепція невидимих станів має застосування в теорії ігор («нейтральні стратегії») і оптимізації («невидимі флуктуації»).

Узагальнена модель Ізінга зі змінною довжиною спінів дозволяє краще зрозуміти критичну поведінку у складних системах та мережах, враховуючи як індивідуальні властивості (сила спіна), так і глобальну топологію (структуру мережі). Модель може бути застосована для аналізу задач соціальної динаміки, таких як формування думок та маркетингові стратегії, завдяки здатності моделювати складні взаємодії. У нейронауці спінові моделі допомагають вивчати нейронні мережі в мозку, де змінна сила вузлів відображає різницю у функціонуванні та взаємодії нейронів. Аналіз універсальних характеристик (критичних показників, скейлінгових функцій і відношень критичних амплітуд) дозволяє передбачати поведінку систем поблизу критичних точок, що сприяє розробці й оптимізації магнітних матеріалів, макромолекулярних структур та інших складних систем.

Застосований новий підхід до проблеми впливу структурного безладу на магнітні фазові переходи дозволяє розширити коло можливих матеріалів із властивостями структурно-неоднорідних магнетиків. Традиційні дослідження безладу в 3D-моделі Ізінга зазвичай зосереджуються на замороженому безладі з немагнітними домішками у вузлах ґратки. Запропонована модифікація моделі Ізінга зі змінними довжинами спінів моделює безлад для суміші двох ізінгоподібних магнетиків (суміші зі спінами двох різних довжин). Такий підхід дозволяє дослідити вплив структурного безладу без врахування немагнітної компоненти. Також у перспективі планується досліджувати більш складні матеріали для різної кількості магнітних компонент, їх концентрацій та законів розподілу.

Результати аналізу мережі співавторства між містами України на базі «Журналу Фізичних Досліджень» (ЖФД) дозволяють редакційній колегії оцінювати динаміку співпраці з авторами та виявляти тенденції у публікаційній активності, розробляти стратегії залучення нових авторів, а також підтримувати зв'язки з тими, хто раніше співпрацював із журналом.

4.10. Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення

Дисертація має логічну структуру. Дисертаційна робота складається із вступу, розділу з оглядом літературних джерел, що стосуються тематики дисертації, шести розділів основної частини, у яких викладені результати досліджень здобувача, загальних висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Стиль та мова дисертації не викликають суттєвих зауважень.

Дисертаційна робота за структурою, мовою та стилем викладання 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 урахуванням вищезазначеного, на фаховому семінарі зі спеціальності 104 – “Фізика і астрономія” Інституту фізики конденсованих систем НАН України ухвалили:

5. 1. Дисертаційна робота Мар'яни Богданівни КРАСНИЦЬКОЇ на тему “Коллективна поведінка на складних мережах: фундаментальні аспекти та застосування” є завершеною науковою працею, у якій розв'язані актуальні наукові завдання: 1) дослідження фазових переходів для моделі Поттса з невидимими станами на повному графі та на безмастбній мережі; 2) дослідження впорядкування, побудова фазової діаграми для моделі Ізінга зі змінною довжиною спіна на графах різної топології; 3) пошук скейлінгових функцій моделі Ізінга зі змінною довжиною спіна на графах різної топології; 4) пошук функціонального представлення вільної енергії моделі Ізінга з випадковою довжиною спіна; 5) дослідження впливу структурного

безладу на магнітне впорядкування, чисельні симуляції для структурно-невпорядкованої 3D моделі Ізінга зі спінами двох довжин; 6) аналіз нулів статистичної суми у площині комплексних значень фізичних параметрів для моделі Блюма-Капеля на повному графі; 7) кількісний аналіз мережі співавторства ЖФД; 8) аналіз динаміки росту семантичної мережі на прикладі мережі концепцій препринтів ArXiv.

Ці результати відповідають спеціальності 01.04.02 – “теоретична фізика” та мають важливе значення для галузі 10 – “природничі науки”.

5. 2. Матеріали дисертації М.Б. Красницької повністю висвітлено у 28 наукових публікаціях, з них 14 статей включено до міжнародних наукометричних баз.

5. 3. Дисертація М.Б. Красницької 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 М.Б. Красницької, дисертаційна робота “Коллективна поведінка на складних мережах: фундаментальні аспекти та застосування” 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

І. М. МРИГЛОД

Рецензенти:

доктор фізико-математичних наук,

М.П. КОЗЛОВСЬКИЙ

доктор фізико-математичних наук,

М.А. ШПОТ

доктор фізико-математичних наук,

Я.М. ІЛЬНИЦЬКИЙ