

Lublin, dnia 20.03.2025

**ВІДГУК опонента**

**на дисертаційну роботу Красницької Мар'яни Богданівни «КОЛЕКТИВНА ПОВЕДІНКА НА СКЛАДНИХ МЕРЕЖАХ: ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ» представлену на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика**

**Актуальність теми дослідження.** Актуальність теми дослідження зумовлена потребою глибшого розуміння колективної поведінки складних систем, зокрема фазових переходів у магнетиках із нетривіальною архітектурою та процесів впорядкування в класичних статистичних моделях. Сучасні підходи до аналізу складних мереж дозволяють розширити межі традиційної статистичної фізики, надаючи можливість кількісно описувати ентропійні впливи та структурні особливості систем. Важливість таких досліджень виходить за межі фундаментальної науки, адже вони знаходять застосування в аналізі соціальних процесів, розповсюдженні інформації, стійкості мереж до атак і моделюванні біологічних систем. Розвиток міждисциплінарних підходів у вивченні складних мереж сприяє створенню нових моделей, що враховують як глобальні топологічні властивості, так і індивідуальні характеристики елементів системи. Запропоновані модифікації класичних спінових моделей дозволяють не лише покращити опис критичних явищ у фізичних системах, а й розширити їх застосування в нейронауці, маркетингу та соціальній динаміці. Таким чином, дослідження, представлене в дисертації, робить вагомий внесок у сучасну науку про складні системи, відкриваючи нові перспективи для подальших теоретичних і прикладних розробок.

**Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій.** Обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій у дисертації забезпечується використанням сучасних аналітичних і чисельних методів, що ґрунтуються на статистичній фізиці та теорії складних мереж. Отримані результати підтверджені детальним математичним аналізом, чисельними симуляціями та порівнянням із відомими теоретичними підходами. Висновки узгоджуються з експериментальними даними та публікаціями в авторитетних



рецензованих журналах, що підтверджує їхню достовірність і наукову цінність. Запропоновані моделі та методи мають не лише фундаментальне значення, але й можуть бути застосовані для розв'язання практичних задач у фізиці, соціальних науках і нейронауці.

**Наукова новизна і основні результати.** Основні результати дисертаційної роботи полягають у вивченні колективної поведінки складних систем, зокрема, фазових переходів у магнетиках з нетривіальною архітектурою та впорядкування в класичних моделях статистичної фізики на складних мережах. Було запропоновано та досліджено модифікацію моделі Поттса з невидимими станами, яка дозволяє гнучко регулювати рід фазового переходу, а також встановлено граничні значення параметрів, що визначають цей перехід. Аналіз критичної поведінки на відпаленій безмасштабній мережі показав, що фазові переходи контролюються трьома глобальними параметрами: числом взаємодіючих станів, кількістю невидимих станів та топологічними характеристиками мережі. Виявлено, що вплив топології мережі на фазові переходи є незалежним від ентропійних ефектів, що є важливим для опису складних систем.

Запропоновано нову узагальнену модель Ізінга, де довжина спіна є змінною, що дозволяє аналізувати впорядкування агентних систем із бінарною опозицією. Було отримано фазові діаграми для цієї моделі на повному графі, графі Ердоша-Реньї та безмасштабній мережі, що дозволило встановити вплив локальних та глобальних факторів на критичну поведінку. Використовуючи методи теорії ренормгрупи та Монте-Карло симуляцій, було показано, що структурний безлад може кардинально змінювати критичні властивості магнетиків. У випадку моделі Блюма-Капеля на повному графі проведено аналіз статистичних нулів та отримано критичні показники, що підтвердило їхню відповідність очікуваним універсальним співвідношенням.

Також досліджено структуру складних мереж на прикладі соціальної мережі співпраці авторів та семантичної мережі понять. Виявлено, що традиційні мережеві моделі не здатні відтворити спостережувані характеристики, тому було запропоновано нову генеративну модель, яка враховує механізми зростання за блоками та переважного вибору понять. Це дозволило пояснити формування зв'язків між раніше незалежними науковими напрямками та відтворити емпіричні властивості мережі понять. Отримані результати мають значення не лише для фундаментальних досліджень у статистичній фізиці, а й для прикладних задач, таких як аналіз поширення інформації, стійкість до атак та оптимізаційні алгоритми в складних системах.

### **Зауваження**

Деякі аспекти взаємодій у складних мережах могли б бути розглянуті детальніше.



Корисним було б детальніше пояснити методи, використані для комп'ютерного моделювання, їх ефективність при дослідженні даної проблеми (структурно-неупорядкованих магнетиків), а також більш точно описати процедуру відпалу (annealing) та самоусереднення, їхній вплив на стабільність і точність отриманих результатів.

Також у тексті дисертації є синтаксичні неточності, слід було б приділити увагу форматуванню літератури, забезпечивши єдність стилю посилань і коректне оформлення бібліографічного списку.

**Повнота викладу в опублікованих працях наукових положень, висновків та рекомендацій.** За темою дисертації опубліковано 12 статей у виданнях, що індексуються у Scopus і Web of Science (7 статей у журналах з квантилем Q2 і 5 статей в українських журналах з Q4), іще 2 статті опубліковані як препринти. Результати роботи були представлені на конференціях в Україні та закордонном – у Франції, Англії, Німеччині, Польщі, тощо.

**Відсутність академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації.** У публікаціях Красницької Мар'яни Богданівни не виявлено академічного плагіату, у дисертації та авторефераті наводяться відповідні посилання на першоджерела. У спільних публікаціях зі співавторами чітко окреслено внесок здобувачки, а також те, що вона брала безпосередню участь в обговоренні всіх результатів та неодноразово представляла спільні дослідження на конференціях.

**Загальний висновок.** Згадані вище зауваження жодним чином не впливають на наукову новизну, отримані дисертанткою основні результати, висновки й практичне значення результатів дисертації й загальне позитивне враження від роботи. Підтверджую, що дисертаційна робота Красницької Мар'яни Богданівни «КОЛЕКТИВНА ПОВЕДІНКА НА СКЛАДНИХ МЕРЕЖАХ: ФУНДАМЕНТАЛЬНІ АСПЕКТИ ТА ЗАСТОСУВАННЯ» представлена на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук є заваршеним оригінальним науковим дослідженням, відповідає вимогам “Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук” затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 року № 1197, а дисертантка заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.



*Офіційний опонент*  
*доктор фізико-математичних наук,*  
*Професор Козицький Юрій Васильович,*  
*професор кафедри прикладної математики*  
*Інституту математики Університету Марії*  
*Кюрі-Склодовської (Польща)*

