



**LABORATOIRE DE PHYSIQUE THÉORIQUE
DE LA MATIÈRE CONDENSÉE
L.P.T.M.C**

Tour 24, Couloir 24/25, 2ème étage, case 121,
4, Place Jussieu, 75252 Paris, Cedex 05, France

Tél. : +33 (0)1 44.27.49.52
Fax : +33 (0)1 44.27.51.00
Mail : secretariat@lptmc.jussieu.fr



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

(UMR 7600)

**ВІДГУК
офіційного опонента**

на дисертаційну роботу Красницької Мар'яни Богданівни "Фазові переходи на складних мережах", подану на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

У дисертаційній роботі досліджуються фазові переходи та критична поведінка на складних мережах, тобто, коли взаємодії багаточастинкової системи описуються у вигляді складної мережі. Така поведінка привертає увагу як своїми незвичайними рисами, так і широким спектром можливих застосувань, що сягають від соціо- до нанофізики. Як показано, зокрема, і в дисертаційній роботі, фундаментальні принципи критичних явищ, універсальність і скейлінг, потрібно переглянути, коли система знаходиться на складній мережі. Оригінальність і новизна дисертаційної роботи зумовлена декількома причинами. Перша (і очевидна) полягає в тому, що проблеми, які тут розглядаються, відображають сучасні тенденції в галузі фізики конденсованих середовищ і теорії складних систем і до сьогодні залишаються невирішеними. Друга причина пов'язана з тим, що в роботі досліджується виникнення якісно нової поведінки у багаточастинкових системах (системах багатьох агентів) різної природи. У свою чергу, це вимагає вивчення в рамках єдиної концептуальної та методологічної бази. З цих міркувань випливає також інноваційний характер цієї дисертації: вона має справу зі Складністю, що виникає як нова парадигма для розгляду з єдиної точки зору сукупності явищ у системах, що складаються з багатьох взаємодіючих складових. В цьому відношенні дисертація відображає сучасний стан аналізу складних систем засобами статистичної фізики, нової галузі досліджень, що в даний час набуває всіх рис чітко визначеної галузі науки з власним предметом аналізу, системою понять і методів.

Добре відомо, що, якщо взаємодіючі частинки знаходяться на вузлах безмасштабної мережі з степеневим спаданням функції розподілу ступеня вузлів, то, залежно від поведінки моментів цього розподілу, можуть проявитись різні типи критичної поведінки. Це явище було предметом ретельного аналізу різними методами, в тому числі в рамках феноменологічного підходу Ландау, методом реплік, у наближенні середнього поля. Дисертація продовжує аналіз цього явища, розглядаючи нові риси критичної поведінки моделі Поттса на безмасштабних мережах (розділ II) і моделі Ізінга на складних мережах (розділи III і IV).

Дисертація складається із вступу, першого розділу, де представлено огляд основних робіт та методів, трьох оригінальних розділів, в яких наведено результати особистих досліджень дисертантки, висновків, списку цитованої літератури та додатків.

У вступі сформульовано актуальність теми дисертаційної роботи, представлено її зв'язок з науковими планами, висвітлено наукову новизну отриманих результатів та їх практичне значення, сформульовано мету і завдання, подано список основних публікацій та коротку структуру дисертації. У першому розділі дисертаційної роботи подаються означення основних понять теорії мереж, а також наводиться огляд основних результатів, що характеризують критичну поведінку спінових систем на мережах. В окремому підрозділі розглянуто метод аналізу нулів статистичної суми в площині комплексних значень фізичних параметрів.

У другому розділі проаналізована q -станова модель Поттса із спінами локалізованими на вузлах складної мережі зі степеневно-згасною функцією розподілу ступенів вузлів та показником загасання λ . Використовуючи наближення неоднорідного середнього поля у роботі отримано вираз для вільної енергії. Аналізуючи вільну енергію в різних діапазонах q та λ одержано фазову діаграму. Встановлено, що при $\lambda > 3$ у системі відбувається фазовий перехід першого або другого роду, а при $\lambda \leq 3$ система залишається впорядкованою при будь-якій скінченній температурі. Встановлено, що при $\lambda = 5$ для моделі Ізінга та при $\lambda = 4$ для випадку перколяції з'являються логарифмічні поправки до скейлінгу. У режимі фазового переходу другого роду знайдено ряд термодинамічних функцій та значення відповідних критичних показників у різних діапазонах q та λ . Також аналізуючи критичну поведінку одержано ряд інших універсальних величин, таких як скейлінгові функції та відношення критичних амплітуд. Виявлено нетипову поведінку стрибка теплоємності для моделі Ізінга при $\lambda > 5$. В той час як в цьому діапазоні інші універсальні величини відповідають передбаченим із теорії середнього поля, стрибок теплоємності є λ -залежним, та прямує до стандартного середньо-польового значення тільки в границі $\lambda \rightarrow \infty$.

У наступних двох розділах для дослідження критичної поведінки застосовується метод аналізу нулів статистичної суми у площині комплексних фізичних параметрів, поля та температури (нулі Лі-Янга та Фішера). Цей метод є одним із основних методів теорії критичних явищ. Однак, до появи робіт дисертантки та її колег він не застосовувався для опису критичності на складних мережах. Таким чином, дисертаційна робота заповнює існуючий пробіл у теорії фазових переходів на безмасштабних мережах, пропонуючи опис Лі-Янга-Фішера для цього явища. У третьому розділі дисертації проаналізовано модель Ізінга на повному графі використовуючи метод аналізу нулів Лі-Янга-Фішера. Для моделі Ізінга із далекосяжною взаємодією проаналізовано поведінку статистичної суми у комплексній площині. Знайдено відповідні значення конформно-інваріантного кута, утвореного лінією конденсації нулів Фішера із дійсною віссю та проаналізовано рух нулів Фішера в дійсному магнітному полі. Чисельно одержано координати нулів Лі-Янга та показник скейлінгу σ . Оскільки координати нулів виявились чисто уявними, це, в свою чергу, означає виконання теореми Лі-Янга про коло одиничного радіуса.

У четвертому розділі розглянуто статистичну суму моделі Ізінга на відпаленій безмасштабній мережі. Використовуючи метод, відпрацьований у попередньому розділі, отримано вирази для статистичної суми у приведених змінних поля та температури. Використовуючи метод аналізу комплексних нулів статистичної суми для нулів Фішера знайдено кут конденсації ϕ , що в діапазоні $\lambda \geq 5$ відповідає значенню, знайденому для моделі на повному графі, а для $3 < \lambda < 5$ є λ -залежним і зростає із λ . У випадку $\lambda = 5$ спостережено появу логарифмічних поправок для координат нулів статистичної суми, що задовольняють передбачені скейлінгові співвідношення. У випадку комплексного магнітного поля одержано координати нулів Лі-Янга. При $\lambda \geq 5$ усі вони виявились чисто уявними, як і для

моделі на повному графі, однак, при $3 < \lambda < 5$ починають з'являтися нулі, координати яких мають ненульову дійсну частину. Це, в свою чергу, приводить до порушення теореми Лі-Янга. Порушення цієї теореми для моделі Ізінта на відпаленій безмасштабній мережі спостережено вперше і підтверджено також асимптотичними оцінками для виразів статистичної суми в границі великих полів. Зауважу, що відповідна робота дисертантки, в якій опублікований цей результат, була обрана видавцем журналу, як одна із найважливіших опублікованих робіт.

Однак, дисертація містить і ряд недоліків. Серед них: відсутність чіткого формулювання моделей при наявності замороженого та відпаленого безладу, недостатність обґрунтування методу неоднорідного середнього поля, відсутність порівняння одержаних результатів із даними комп'ютерних симуляцій чи експериментальними спостереженнями.

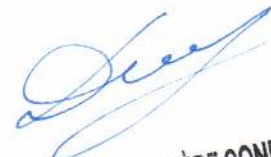
Слід зауважити, що вищевказані недоліки не зменшують важливості результатів досліджень дисертаційної роботи п. Красницької, які мають наукову цінність й новизну. Особливо хочу відзначити той факт, що дисертація виконана у результаті співпраці між двома установами – Інститутом фізики конденсованих систем НАН України та Інститутом Жана Лямура Університету Лотарингії. Вітаючи таку співпрацю, висловлю надію, що вона триватиме і надалі..

Загальні висновки, подані вкінці роботи, достатньо відображають головні наукові результати, а матеріал, представлений у додатках, повніше розкриває зміст одержаних результатів. Автореферат дисертації за структурою та змістом відповідає вимогам МОН України щодо оформлення. Основні результати опубліковані у провідних вітчизняних та закордонних журналах, доповідались на міжнародних конференціях та семінарах.

Загалом, дисертаційна робота п. Красницької містить ряд нових оригінальних результатів та задовольняє всі вимоги МОН України, які ставляться до кандидатських дисертацій, а дисертантка заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент,
професор Лабораторії теоретичної фізики
конденсованої матерії університету П'єра
і Марії Кюрі, Париж-6 (Париж, Франція),
доктор фіз.-мат. наук

В.С. Доценко



Париж, 7 серпня 2016 р.

PHYSIQUE THÉORIQUE DE LA MATIÈRE CONDENSÉE
Université P. et M. Curie et CNRS (UMR7600)
Tour 12/13 - 5^{ème} étage,
4, place Jussieu, case courrier 121
75252 Paris Cedex 05