

## Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу Дудки Максима Леонідовича «Критичні властивості магнетиків: вплив структурного безладу, анізотропії, фрустрацій», подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 — теоретична фізика

Дисертаційну роботу Максима Дудки присвячено актуальним питанням урахування структурного безладу, анізотропії, скінченності зразків під час аналізу критичної поведінки магнетиків. Це дозволяє зробити реалістичнішим моделювання властивостей фізичних об'єктів. Теоретичні й експериментальні дослідження магнітних систем таких типів пов'язане також із технологічними можливостями використання нових магнітних матеріалів. Наприклад, скірміони у фрустрованих магнетиках можуть забезпечити створення нових пристроїв для зберігання інформації.

Повертаючись ближче до теми опонованої дисертаційної роботи, варто зазначити, що аналіз критичної поведінки різноманітних фізичних систем надалі залишається однією з важливих задач фізики конденсованого стану. Вплив домішок, безладу, анізотропії, зовнішніх полів тощо значно збагачує розмаїття типів критичної поведінки, тому їх вивчення, безумовно, становить інтерес. Дослідження не лише статичних, але й динамічних критичних характеристик важливе з огляду на розширення можливостей експериментальної перевірки теоретичних моделей. Теоретичний аналіз згаданих проблем вимагає вдосконалення наявних і розвитку нових методів досліджень, як аналітичних, так і числових. Усе зазначене тою чи іншою мірою можна знайти в роботі Максима Дудки.

Обсяг дисертації становить 393 сторінки, із яких основний текст — 295 сторінок. Вона складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел на 522 позиції та чотирьох додатків.

У *вступі* відображено актуальність теми, зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, структуру дисертації, наукову новизну та практичне значення результатів, особистий внесок здобувача в публікаціях зі співавторами, відомості про апробацію.

**Перший** розділ містить огляд літератури. Тут описано низку моделей магнетиків, які враховують структурний безлад, анізотропію та фрустрації. Також проаналізовано деталі теоретичного опису статичних та динамічних критичних явищ. Докладно описано підхід пертурбативної теоретико-польової ренорм-групи та відповідні процедури пересумовування.

**Другий** розділ присвячено магнетикам із немагнітними протяжними дефектами структури. Автор отримав аналітичні та чисельні оцінки значень критичних показників. На підставі розрахованих значень показника анізотропії підтверджено теоретичні передбачення для анізотропного скейлінгу. Встановлено вплив протяжних домішок на так зване критичне сповільнення (зростання часу релаксації при наближенні системи до критичної температури) — збільшення відносно чистих систем та систем із точковим безладом.

Вплив випадкової анізотропії на критичну поведінку магнетиків є предметом аналізу **третього** розділу. Зокрема, показано відсутність неперервного фазового переходу нового класу універсальності, передбаченого працею [Дубс и др., *ТМФ* **190**, 419 (2017)]. Докладно вивчено критичну поведінку магнетиків для випадку анізотропного кубічного розподілу осей випадкової анізотропії.

У **четвертому** розділі досліджено критичну динаміку структурно неупорядкованих магнетиків для випадків, коли параметр порядку зв'язаний із повільнозмінними збережними величинами (як-от енергією). Показано, що існування такого зв'язку суттєво впливає на критичні властивості таких систем. Проаналізовано асимптотичну поведінку відповідних динамічних критичних показників.

**П'ятий** розділ присвячено критичним властивостям двовимірних систем зі структурним безладом. Для дослідження різних типів безладу використано представлення моделі Ізинга через ферміонні поля Майорани та Дірака. Аналіз флюктуацій показав, що теплоємність двовимірної моделі Ізинга із замороженим нескорельованим безладом самоусереднюється, на відміну від внутрішньої енергії. Далекосяжний скорельований безлад досліджено, крім моделі Ізинга, також для моделей Бакстера та Ашкіна–Теллера з  $N$  кольорами.

**Шостий** розділ, хоч і аномально короткий у контексті структури дисертації, містить сконденсований аналіз  $O(n_{\parallel}) \oplus O(n_{\perp})$  моделі, яку можна використати для опису анізотропних магнетиків у зовнішніх магнітних полях. Зокрема, тут оцінену граничні вимірності параметра порядку для різних типів

мультикритичної поведінки.

Останній оригінальний *сьомий* розділ присвячено дослідженню характеру фазових переходів у фрустрованих магнетиках з неколінеарним упорядкуванням. Застосування кількох пертурбативних та непертурбативних ренорм-групових підходів показало перший рід фазового переходу у тривимірних фрустрованих магнетиках.

Завершується основний текст дисертації загальними *висновками*, у яких підсумовано основні результати досліджень. *Додатки* містять допоміжні перетворення та деякі проміжні результати.

Результати роботи повністю опубліковано в 22 статтях та в 14 тезах доповідей. Апробація на конференціях та семінарах відзначається широкою європейською географією: Австрія, Іспанія, Італія, Німеччина, Польща, Україна, Франція, Хорватія. Двадцять статей із 22 — у журналах з імпаکت-фактором, зокрема, це провідні міжнародні видання, такі як «Physical Review B», «Physical Review E», «Journal of Physics A», «Journal of Mathematical Physics» та ін.

Результати наукових досліджень Максима Дудки в дисертаційній роботі викладено послідовно і логічно. Автореферат дисертації цілком відображає зміст її основних положень та ідей. Достовірність результатів та обґрунтованість висновків роботи забезпечують використання адекватних моделей, а також апробованих чисельних та аналітичних методів.

Автор отримав низку нових результатів, серед яких: деталі динамічної критичної поведінки тривимірних магнетиків зі структурним безладом, факт сповільнення критичних процесів під впливом протяжних дефектів порівняно з точковими з відповідними чисельними оцінками критичних показників, функції розподілу флюктуацій внутрішньої енергії та теплоємності у критичній області для двовимірної моделі Ізинга з нескорельованим безладом тощо. Заслуговує уваги новий підхід до розрахунків граничної вимірності для тривимірних фрустрованих магнетиків у межах непертурбативної ренорм-групи.

У процесі ознайомлення з дисертацією Максима Дудки у мене виникли деякі запитання й зауваження, які наведено нижче:

1. У розділі 2 під час симуляцій для розрахунків кореляційної довжини  $\zeta$  автор аналізує систему розміру  $128 \times 128 \times L$  для різних  $L$ . Чи не варто було спочатку зробити симуляції, наприклад, для  $64 \times 64 \times L$ , щоби

перевірити, як впливає розмір на остаточні результати? Цікаво було би дізнатися часо- та ресурсозатратність цих розрахунків — це дозволило би зрозуміти, чому не робили симуляцій на більших розмірах ( $256 \times 256 \times L$ ).

2. У табл. 2.1 можна помітити цікаву особливість динамічних критичних показників  $z_{\parallel}$  та  $z_{\perp}$  тривимірних  $n$ -компонентних магнетиків. Коли вимірність протяжних дефектів  $\varepsilon_d$  прямує до 1.1, для  $n = 1$  на насичення виходить  $z_{\perp}$ , а для всіх інших  $n$  —  $z_{\parallel}$ . Яка причина цього?
3. У розділах 3–4 кілька разів трапляється твердження: «... доданок ... не є результатом усереднення, але повинен включатися...». Воно звучить трохи дивно і незрозуміло, попри подальші спроби пояснення в тексті роботи.
4. У тексті дисертації трапляються орфографічні та пунктуаційні помилки, англіцизми (зокрема, у вживанні великих літер, у деяких формулюваннях та в пунктуації), описки у формулах (наприклад, (4.42)–(4.46) не містять диференціала  $dk'$ ) тощо.

Зауваження до дисертації, однак, не мають принципового характеру й не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи, яка повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» (постанова КМУ № 567 від 24 липня 2013 р. зі змінами), а сам здобувач, Максим Леонідович Дудка, безумовно заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 — теоретична фізика.

Професор кафедри теоретичної фізики  
Львівського національного університету  
імені Івана Франка,  
доктор фізико-математичних наук,

А. А. Ровенчак

Підпис проф. А. А. Ровенчака засвідчую:  
Вчений секретар Львівського національного  
університету імені Івана Франка, доцент

