Відгук офіційного опонента
на дисертаційну роботу
Шпота Миколи Адріановича
"Критична поведінка просторово неоднорідних систем"
подану на здобуття наукового ступеня
доктора фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Теоретична та технологічна зацікавленість в опануванні закономірностями фазових переходів і критичних явищ існує практично впродовж всього розвитку фізичної науки. Теорія цих явищ здобула особливий поштовх у другій половині XX століття, коли стали зрозумілими її фізичні і математичні аналогії з квантовою теорією поля. Протягом декількох останніх десятиліть було досягнуто значних успіхів у описі критичних явищ із залученням теоретико-польових методів ренормалізаційної групи, відповідних рівнянь і розкладів у ряди діаграм Фейнмана. Спочатку в центрі уваги перебували ідеалізовані модельні системи. А згодом все більше зусиль стало спрямовуватися на вивчення ефектів обумовлених порушенням ідеальності, що наближає нас до розгляду реальних фізичних об'єктів. До цього напряму належить представлена дисертаційна робота.

Робота М.А. Шпота присвячена дослідженню критичної поведінки декількох видів просторово неоднорідних систем за допомогою методів, які походять з квантової теорії поля, і проявили себе з найкращого боку у застосуваннях статистичної фізики. Автор виділяє такі загальні риси реальних багаточастинкових систем як невпорядкованість, анізотропія, наявність поверхонь і скінченність розмірів. Присутність кожної з таких властивостей приводить до значних розрахункових ускладнень. У кожному випадку здобувач відповідним чином адаптовує та узагальнює існуючі стандартні підходи і використовує їх з максимальною ефективністю.

Отримуючи нові результати для вибраних об'єктів досліджень, автор докладає значних зусиль до їх порівняння з результатами робіт інших авторів. В ряді випадків відомі результати, що стосуються ідеальних систем, отримуються як часткові випадки виведених здобувачем більш загальних формул при специфічних граничних переходах. Це надає солідності та обгрунтованості знайденим результатам і висновкам, зробленим на їх основі. У свою чергу, дані робіт М.А. Шпота використовуються і цитуються іншими авторами в їх дослідженнях у цих і суміжних галузях.

У першому, оглядовому, розділі автор коротко формулює фізичні задачі, які розглядаються в наступних шести оригінальних главах. Тут ми бачимо формулювання в термінах мікроскопічних, граткових гамільтоніанів, тоді як в конкретних розрахунках використовуються *ефективні* теоретико-польові гамільтоніани, асимтотична поведінка яких в околі критичної точки еквівалентна поведінці сформульованих моделей. Оглядова частина включає в себе також досить вичерпну інформацію про літературні дані щодо проблематики, яка розглядається. Відповідно, список використаної літератури у здобувача досить вагомий: майже чотириста посилань.

У другому розділі представлено результати, що стосуються невпорядкованих систем. Розглядається випадок, коли наявність безпорядку змінює клас універсальності відповідної чистої системи. Критичні сингулярності описуються новими показниками і амплітудами степеневих залежностей. Використовується *масивна* теорія поля Каллана-Симанзіка, сформульована Парізі для статистичних систем у фіксованих вимірностях простору d. Цю теорію автор застосовує при нецілих d для того, щоб прослідкувати хід залежностей критичних показників від вимірності простору. Розв'язується складна задача розрахунку відношень критичних амплітуд термодинамічних функцій по двох сторонах фазового переходу: $T > T_c$ і $T < T_c$. При цьому значна увага приділяється відношенню амплітуд питомої теплоємності, знак якого визначає якісну форму теплоємності при $T \simeq T_c$.

У розділі 3 масивна теорія поля формулюється для d-вимірних напівбезмежних систем, обмежених плоскою $d-1$-вимірною поверхнею. Вслід за загальним розглядом умов нормування теорії та її перенормування, проводяться явні розрахунки поверхневих критичних показників у наближенні двох "петель" при $d = 3$. Наводиться досить суттєвий масив чисельних оцінок. Згодом виявилося, що отримані величини пройшли апробацію великим числом чисельних експериментів методом Монте Карло. Виводяться також результати для напівбезмежних систем з замороженим безпорядком.

У четвертому розділі досліджуються сильно анізотропні системи в околі точки Ліфшица. Тут використовується відповідне нетривіальне узагальнення *безмасової* теорії поля і ε-розкладу біля верхньої граничної вимірності простору. Автор пропонує специфічний підхід до розрахунків у координатному просторі з використанням скейлінгових представлень вільного пропагатора і подібних функцій, що виникають у процесі. З його допомогою він вперше отримує правильні критичні показники точки Ліфшица в другому порядку по ε. Далі ставляться і розв'язуються задачі про просторову анізотропію та її вплив на критичну поведінку в точці Ліфшица, і про поверхневу критичну поведінку сильно анізотропних систем у цій точці.

У першій частині розділу 5 автор проводить математичну перевірку гіпотези локальної скейлінгової інваріантності М. Генкеля (це — спроба формулювання аналога конформної інваріантності у випадку точки Ліфшица). Виявляється, що оригінальна гіпотеза не вільна від математичних неточностей. У другій частині розділу представляються явні розрахунки парних кореляційних функцій типу поле-поле і енергія-енергія в точці Ліфшица та їх ε-розклади. Автор порівнює їх з гіпотезою Генкеля і визначає її область застосовності: це — ефективні гаусові теорії, що насправді описують тільки невзаємодіючі модельні системи.

У шостому розділі автор повертається до розрахунків критичних показників точки Ліфшица і проводить їх іншим способом, використовуючи самоузгоджені рівняння типу Швінгера-Дайсона, що приводить до їх $1/n$-розкладу. Це — теорія збурень відносно сферичної моделі Стенлі, де кількість компонент поля параметра порядку n вважається безмежно великим. Розрахунки складні і приводять до непростих результатів. Але їх перевага в тому, що критичні показники точки Ліфшица отримуються у повній області існування цієї точки, тобто при всіх допустимих вимірностях простору d і кількостях осей анізотропії m. Крім цього, автор використав, напевне, всі можливості, щоб отримати правильні граничні випадки і розглянути цікаві спеціальні випадки. Як наслідок, отримані цікаві нетривіальні передбачення якісних залежностей кореляційних критичних показників від вимірності простору. Слід відзначити, що подібні залежності були отримані пізніше іншими авторами, які у своїй роботі використовували точні рівняння ренормгрупи для точки Ліфшица.

У сьомому, і останньому, розділі автор розглядає ефект геометричного обмеження критичних систем двома паралельними поверхнями. При таких обставинах виникає аналог добре відомого у квантовій електродинаміці ефекту Казимира. Сили між поверхнями визначаються "амплітудами Казимира". Здобувач явно описав проблеми з розрахунками амплітуд Казимира у вищих наближеннях ε-розкладу, і за допомогою виділення нульової моди і формування нового $d-1$-вимірного ефективного гамільтоніана отримав принципово нові, неаналітичні члени розкладу. Так, вперше з'явилися доданки із степенями $\varepsilon^{3/2}$ і $\varepsilon^{7/4}$. Передбачена також поява логарифмів від ε. Підкреслю, що в цьому розділі на єдиній основі розглядаються як ізотропні, так і анізотропні системи. Результати нетривіальні, цікаві, і передбачають подальший розвиток.

Результати і висновки дисертаційної роботи викладені чітко, зрозуміло і з достатньою простотою. Текст не перевантажений розрахунковими деталями і надто громіздкими формулами. Взагалі складається таке враження, що автор хотів написати цікаву зв'язну історію і зацікавити нею читача, незалежно від його спеціалізації.

Робота не страждає від математичних неточностей. Суттєвих зауважень до роботи в мене немає. Зверну тільки увагу на те, що в деяких випадках у контексті роботи автор ставиться до фахових назв і фактів як до загальновідомих, і не дає відповідних означень або літературних посилань. Наприклад, на стор. 122–123 обговорюються граничні умови і пропагатор Діріхле без означення або звертань до літератури, подібна ситуація, із згадкою про граничні умови Робіна, повторюється на стор. 233.

Наведені зауваження не зменшують наукову вагу та важливість отриманих результатів, а також загальну високу оцінку роботи. Основні наукові досягнення, представлені у дисертації, отримані здобувачем самостійно. Результати і висновки своєчасно і повно опубліковані у 28 статтях у наукових журналах зі списку тих, де передбачена публікація матеріалів дисертаційних досліджень зі спеціальності 01.04-фізика. Результати дисертації всебічно представлені на конференціях і семінарах. Здобувач, Шпот Микола Адріанович, є відомим і кваліфікованим автором наукових праць, визнаних науковою громадськістю. Автореферат адекватно відображає зміст і основні положення дисертації.

Враховуючи високу актуальність обраної теми, наукову значимість і новизну отриманих результатів, достовірність і обґрунтованість висновків, вважаю, що дисертація М.А. Шпота "Критична поведінка просторово неоднорідних систем" повною мірою задовольняє вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМУ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р., № 567 від 27.07.2016 р.), а автор дисертаційної роботи, Шпот Микола Адріанович, повною мірою заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук,
старший науковий співробітник,
провідний науковий співробітник
відділу теорії ядра і квантової теорії поля
Інституту теоретичної фізики
імені М.М. Боголюбова НАН України **Д.В. Анчишкін**

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ІМ. М.М. БОГОЛЮБОВА
Ідентифікаційний код 05417124
м. КИЇВ

Підпис Д.В.Анчишкіна
засвідчую:
Зав. відділу кадрів
2 вересня 21 р.