

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу

Шпота Миколи Адріановича

“Критична поведінка просторово неоднорідних систем”,

подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук
зі спеціальності 01.04.02 – теоретична фізика.

Дисертаційна робота Шпота Миколи Адріановича спрямована на дослідження проблеми опису критичної поведінки неідеальних конденсованих систем. Це системи із замороженим безладом типу сплавів заміщення, системи з сильною просторовою анізотропією, а також системи обмежені поверхнями, які руйнують їх трансляційну інваріантність. Реальні об’єкти характеризуються різного роду структурними неоднорідностями та неоднаковими фізичними властивостями у різних просторових напрямках. Дослідження в основному проводяться методами теоретико-польової ренормалізаційної групи.

Актуальність таких досліджень очевидна, бо вони встановлюють результати, які важливі не тільки для глибшого теоретичного опису неідеальних конденсованих систем, а й для їх практичного застосування, наприклад, в області комп’ютерного моделювання. Вони набули особливо важливого змісту з появою конформного бутстрапу — нового явища в теоретичній фізиці, яке ми спостерігаємо протягом останнього десятиріччя. Робота відображає наукову діяльність здобувача протягом десятиліть, і, насправді, всі ці роки задачі, що розглядалися, не втрачали своєї актуальності. Автор дуже відповідально ставиться до врахування результатів робіт інших авторів, до їх порівняння із власним доробком, і до належного їх цитування. В роботі він наводить цілі таблиці даних, де порівнюються його власні результати з результатами попередніх робіт, і робіт, опублікованих пізніше за його власних.

Наукові здобутки автора обґрунтовуються застосуваннями для їх отримання методами теоретичної фізики та їх оригінальними та математично акуратними узагальненнями. Важливим фактором, що забезпечує обґрунтованість і достовірність роботи є також визнання результатів здобувача іншими авторами і цитування його робіт, деякі з яких на теперішній час вже стали стандартними.

Дисертація має звичну структуру: анотації двома мовами, вступ, перший розділ з оглядом фізичних задач і літератури та оригінальні розділи 2–7.

У розділі 2 розглядається критична поведінка неупорядкованої моделі Ізінга із замороженим безладом типу заміщення (немагнітними домішками). Стартуючи з польового ефективного гамільтоніану (ЕГ) Ландау-Гінзбурга-Вільсона і дотримуючись загальної схеми масивної теорії поля при фіксованих вимірності

стях простору d , стандартні комбінації інтегралів Фейнмана вдалося записати в термінах гіпергеометричних функцій Гауса, залежних від довільного параметра $\varepsilon = 4 - d$. Це, в свою чергу, дало можливість описати нові результати для критичних показників при нецілих d між $d = 2$ і $d = 4$ і для універсальних комбінацій і відношень критичних амплітуд у тривимірному просторі.

Розділ 3 присвячений узагальненню масивної теорії поля на випадок напівбезмежних систем з поверхнею. Тут формулюються загальні теоретичні положення, а також проводяться явні розрахунки у двопетльовому наближенні. Отримуються прогресивні на свій час чисельні оцінки поверхневих критичних показників при $d = 3$, які стали добре відомими і постійно використовуються в роботах на різні теми, пов'язані з напівбезмежними системами.

В плані зауваження, а скоріше *побажання*, автору все таки для повноти опису треба було розглянути *екстраординарний фазовий перехід*, що відбувається в напівбезмежних системах, коли і об'єм і поверхня системи впорядковуються одночасно при деякому спеціальному значенні критичної температури.

Розділ 4 описує дуже нетривіальний підхід до розрахунку епсилон-розкладів (біля верхньої граничної вимірності d^*) критичних показників мультикритичної точки Ліфшиця, присутньої зазвичай на фазовій діаграмі сильно анізотропних систем. За допомогою оригінальних розрахунків у прямому просторі автору вперше вдалося отримати правильні вирази для критичних показників, які коректно узгоджуються з відомими граничними випадками і виправляють ряд відомих, але неправильних результатів. Це вдалося зробити завдяки важливому спостереженню, що вільний пропагатор має скейлінгове представлення, в якому полюси діаграм Фейнмана, які походять від сингулярностей на малих відстанях, можуть бути ізолювані тільки за рахунок степеня r (множник $r^{-2+\varepsilon}$ у виразі для вільного пропагатора є аналогічним до $x^{-2+\varepsilon}$ у звичних ізотропних системах), а лишки цих полюсів представляються інтегралами від скейлінгової функції. Тут ставляться також цікаві питання про вплив кубічної анізотропії модуляційного підпростору на критичну поведінку в точці Ліфшиця і про опис анізотропних систем з поверхнею.

Розділ 5 продовжує "сюжет" розрахунками епсилон-розкладів парних кореляційних функцій. Результати порівнюються з передбаченнями гіпотези локальної скейлінгової інваріантності відомого фізика-теоретика Мальте Генкеля. Гіпотеза була сформульована як узагальнення принципів конформної інваріантності на випадок систем з сильною анізотропією в точці Ліфшиця, і тому представляє безсумнівний інтерес. Але, відповідно до висновків здобувача, на жаль вона виявилася застосовною тільки для деяких гаусових теорій поля, що не враховують реальних взаємодій.

Розділ 6 представляє дослідження критичних показників точки Ліфшиця

за допомогою $1/n$ -розкладу, при великих числах n компонент поля параметра порядку. Головне в цьому підході — це можливість отримання інформації безпосередньо в тих вимірностях простору, які представляють інтерес, без звертань до епсилон-розкладів. Автор успішно користується як цією можливістю, так і можливістю ці розклади виконувати для перевірки своїх загальних результатів. А якісний аналіз цих результатів приводить до цікавих схематичних картинок поведінки кореляційних критичних показників точки Ліфшиця при зміні вимірності простору d і їх порівняння з результатами роботи інших авторів з використанням зовсім іншого підходу.

Розділ 7 присвячений дослідженню ефектів обмеження статистичних систем двома поверхнями, які приводять до появи флуктуаційно-індукованих сил між цими поверхнями в критичній точці. Описані проблеми наївного формулювання теорії збурень і способи боротьби з ними. В результаті правильного формулювання теорії отримуються *неаналітичні* поправки (у тому числі порядку $O(\varepsilon^{3/2})$) епсилон-розкладів амплітуд Казимира. У випадку сильно анізотропних систем показано, що сили Казимира залежать від орієнтації обмежуючих площин відносно осей модуляції і виконано деякі аналітичні розрахунки, цікаві як з точки зору фізики, так і математики.

У загальному, текст дисертаційної роботи написаний ретельно, з численними логічними взаємозв'язками між різними її частинами та формулами. Як на роботу, виконану фізиком-теоретиком, дисертація написана доволі акуратно з математичної точки зору.

Хоча, в цьому контексті, є і зауваження. На стор. 103–104 говориться про "збіжність ряду теорії збурень". Насправді, ряди теорії збурень, які отримуються в розрахунках даного типу, є розбіжними асимптотичними рядами, і, строго кажучи, немає сенсу говорити про їх збіжність. Тим більше, що ні збіжність отриманих рядів, ні ступінь їх розбіжності насправді автором не досліджується.

Головні оригінальні результати та висновки, представлені в дисертації, отримані здобувачем самостійно чи при його прямій участі. Детальне роз'яснення особистого внеску по кожній роботі зі співавторами наводиться у відповідних місцях автореферату і дисертації. Вони достатньою повно опубліковані в 27 статтях видань зі списку наукових журналів, у яких передбачена публікація матеріалів дисертаційних досліджень зі спеціальності 01.04-фізика, а також достатньо представлені на наукових конференціях. Звертають на себе увагу співавтори у спільних публікаціях із здобувачем. До їх списку, зокрема, входять такі класики теоретичної фізики, як H.W. Diehl, Ю.М. Пісьмак, R.K.P. Zia, і математики — R.B. Paris, H. M. Srivastava.

Автореферат повністю відображає зміст і висновки дисертації.

Представлена дисертація "Критична поведінка просторово неоднорідних систем" повністю відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (із змінами) щодо докторських дисертацій.

Автор дисертації, Шпот Микола Адріанович, є висококваліфікованим науковим працівником, широко відомим у науковому середовищі. Він, безумовно, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 - теоретична фізика.

Головний науковий співробітник відділу математичної фізики
Інституту математики НАН України,
доктор фізико-математичних наук, професор

О.Л. Ребенко

25.08.2021

Підпис О.Л. Ребенка засвідчую:

Учений секретар

Інституту математики НАН України

кандидат фізико-математичних наук



І.В. Соколенко