

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Журавльова Юрія Сергійовича
“Метод ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях”

представлену до захисту на здобуття наукового ступеня доктора філософії,
спеціальність 104 – фізика та астрономія

Вдосконалення технічних засобів у фізиці конденсованого стану, що відбулося протягом останніх десятиліть, дало можливість контрольованого створення низькорозмірних структур. Важливим класом таких об'єктів є одновимірні крайові стани в режимі квантового ефекту Холла, холодні гази, магнітні ізолятори (magnetic insulators) тощо. Спільною ознакою цих систем є наявність в них сильних кореляцій, що утруднює або й унеможливує їх опис в термінах квазічастинкових пертурбативних схем, як от наприклад теорія Фермі рідини Ландау. Натомість, збудження в таких системах носять колективний характер, а їх кореляційні функції характеризуються квазі-дальнім порядком. Так у випадку одновимірних електронних систем ці властивості були продемонстровані за допомогою формалізма рідини Томонаги-Латтінжера. Відкриття вищезгаданих систем, в яких одновимірна фізика може бути досліджена прецизійно контрольованим способом призвела до ренесансу експериментів в цієї області та стимулювало розвиток теорій, потрібних для опису цих систем. Серед них можна виділити такі: ренормалізаційна група матриці густини (Density Matrix Renormalization Group), анзац Бете, та теорія нелінійної рідини Латтінжера. Усі ці методи пропонують різні способи обчислення динаміки та кореляційних функцій в досліджуваних одновимірних системах. Саме цим питанням присвячена дисертаційна робота Журавльова Юрія Сергійовича, що свідчить про її своєчасність та актуальність.

Дисертаційна робота представлена до захисту вперше. Вона складається із вступу, трьох розділів, висновків, восьми розділів додаткових матеріалів, списку публікацій автора за темою дисертації та відомостей про апробацію результатів.

У **вступі** було а) обґрунтовано актуальність проведених досліджень; б) продемонстровано зв'язок досліджень із відповідними науковими програмами, планами та темами; в) сформульовано мету, задачі і методи дослідження; г) висвітлено, в чому полягає новизна отриманих результатів; ґ) відмічено особистий науковий внесок здобувача; д) вказано практичне значення отриманих результатів та їх апробація.

У **першому розділі** пропонується загальна схема розрахунку асимптотичної поведінки кореляційних функцій широкого класу одновимірних систем. Кореляційну функцію (тау-функцію) скінченної системи було представлено у вигляді ряду по форм-факторам, які характеризуються довільними фазовими зсувами. Запропонований ряд був підсумований у термодинамічній границі двома різними способами. Результат першого способу є вираз для тау-функції в вигляді різниці детермінантів Фредгольма. Результатом другого способу є аналітичний вираз для тау-функції в термінах інтегралів від елементарних функцій.

Аналітичний вираз був використаний для отримання асимптотик статичних кореляційних функцій квантового ХУ ланцюжка при скінченній температурі.

У **другому розділі** розглядається одновимірна система непроникних еніонів. Використовуючи методику, розроблену у попередньому розділі, автор розрахував точний вираз двоточної кореляційної функції еніонів як функцію відстані та часу в термодинамічній границі. Далі автор отримав аналітичні вирази для асимптотик кореляційної функції в просторово- та часо-подібних областях. Зокрема було виявлено, що просторово-подібна область розбивається на дві підобласті з різною поведінкою кореляційної функції. Насамкінець, в цьому розділі були переотримані асимптотики спін-спін кореляційної функції квантового ХХО ланцюжка, який є одним із граничних випадків еніонного ланцюжка.

У **третьому розділі** досліджується еволюція багаточастинкової системи ферміонів, яка зазнає швидкої зміни (quench). А саме, розглядається скінченна одновимірна система ферміонів, яка розділена на однакові праву та ліву частини. Початковий стан системи представляє собою Слетерівський детермінант фіксованої кількості ферміонів, рух яких відбувається тільки лівій половині загальної системи. В початковий момент гамільтоніан системи змінюється таким чином, що стає можливим транспорт у праву половину системи. В такій задачі було обчислено повну статистику підрахунку (Full Counting Statistics) кількості ферміонів у правій (початково порожній) частині системи. Повна статистика підрахунку (ПСП) була обчислена та проаналізована в термодинамічній границі. Асимптотичний вираз для першого моменту ПСП відтворив відому формулу Ландаурера-Бюттікера, як це і повинно бути.

Серед **найбільш важливих результатів** слід відмітити наступні:

- а) Запропоновано узагальнення для тау-функції відомих одновимірних інтерованих моделей на більш широкий клас одновимірних систем.
- б) На основі нової математичної техніки, розробленої в дисертації, були отримані компактні аналітичні вирази для кореляційних функцій ХУ, та еніонного ланцюжків, та порашовані їх асимптотики.
- в) Був отриманий аналітичний вираз для ПСП одновимірної системи ферміонів, на основі якого було проаналізовано межі застосування відомої формули Ландаурера-Бюттікера.

Якість та обсяг проведених досліджень не викликають сумніву. Однак, в тексті дисертаційної роботи є **певні недоліки**. Можна зробити такі зауваження:

- а) У першому розділі опис формфакторів, які є основними об'єктами дослідження даної роботи, та розрахунок тау-функції на їх основі, проводяться в дуже стислій формі. Це робить даний розділ важким для прочитання для не спеціалістів у відповідній тематиці.

б) В першому та другому розділах обчислені асимптотики кореляційних функції для ХУ та еніонного ланцюжків подаються як фінальний результат. На мій погляд, в даній роботі бракує фізичного аналізу відповідних виразів, який би якісно пояснив їх поведінку як функцію параметрів системи.

Зазначу, що зроблені мною зауваження не впливають на достовірність результатів та не зменшують їх вагомість.

Представлена дисертація виконана на високому технічному рівні. Достовірність результатів дослідження підтверджується паралельним використанням надійних математичних методів та чисельними симуляціями. Результати, наведені в дисертаційній роботі, опубліковані в статтях провідних реферованих наукових журналів. Наукові публікації та їх апробація на наукових конференціях відповідають вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженого постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року.

Актуальність та високий рівень проведених досліджень, а також значущість і достовірність отриманих результатів дає можливість стверджувати, що дисертація Журавльова Юрія Сергійовича “Метод ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях” відповідає спеціальності “104 – фізика та астрономія” та вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженою постановою № 44 Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року, а Журавльов Юрій Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю “104 – фізика та астрономія”.

13 травня 2024 р.

кандидат фіз.-мат. наук,
науковий співробітник
фізико-математичного факультету
Карловий університет,
Прага, Чеська Республіка



Артур СЛОБОДЕНІЮК

Artur Slobodeniuk, Ph.D.
Asistent, vědecký pracovník
Matematicko-fyzikální fakulta
Univerzita Karlova
Praha, Česká republika

Charles University
Faculty of Mathematics and Physics
Department of Condensed Matter Physics
Ke Karlovu 5, 121 16 Prague 2
The Czech Republic