РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію
Собко Богдани Юріївни
“Термодинамічні функції системи із дробовими статистиками”,
подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»

Актуальність дослідження

Для чималої кількості квантово-механічних явищ вдалося запропонувати теоретичні моделі опису, які опираються на еніонну статистику. Квантовий ефект Хола є одним з таких прикладів; його можна розглядати як топологічну фазу речовини, котра виникає, коли двовимірна електронна система охолоджена до низьких температур і поміщена у сильне магнітне поле. За таких умов весь об’єм системи утворює ізолятор, і як результат — заряд переміщується по її поверхні, будучи топологічно “захищеним” від зворотнього розсіяння і демонструючи квантовану провідність. При цьому елементарні збудження дробових квантових станів Хола — це не просто електрони, які підкоряються ферміонній статистиці, це квазічастинки, які, як передбачають теоретичні моделі, мають дуже екзотичні властивості, включаючи дробовий заряд і еніонну статистику. Хоча квантова теорія вимагає, щоб усі фундаментальні частинки були або бозонами або ферміонами, що є вирішальним чинником їхньої статистичної поведінки, теоретичні роботи показують, що у двох вимірах цей принцип може порушуватися, і частинки, чи краще сказати квазічастинки, можуть підкорятися еніонній статистиці. Взагалі кажучи, еніони не можуть існувати як фундаментальні частинки, однак деякі системи в конденсованому стані, як свідчать теоретичні висновки, містять екзотичні квазічастинки, котрі підкоряються еніонній статистиці. Тому теоретичний опис квантово-статистичних систем за допомогою підходів, які беруть за основу еніонну природу квазічастинок, зокрема і дробові статистики, залишається актуальним і важливим напрямом теортичного дослідження властивостей таких систем. Дисертація Собко Б. Ю. якраз і присвячена розвитку теоретичних методів опису систем частинок, які підпорядковуються еніонній статистиці, а також використанню дробових статистик як ефективного інструменту дослідження систем еніонів загалом і термодинамічної поведінки таких систем зокрема.

Практична цінність роботи

Отримані у рамках виконання дисертаційної роботи результати можуть бути використані для теоретичного опису квантово-статистичних систем у конденсованому стані в сильних магнітних полях і, зокрема, для аналізу такого явища як дробовий квантовий ефект Хола. Розроблені підходи будуть корисними як в процесі опису систем частинок з далекодією, так і для вивчення систем з короткодією, де застосування класичних підходів спряжене з чималими труднощами. Робота має також і педагогічну та методичну цінність, оскільки розроблені у ній методи, які опираються на “підіпсуті” статистики, можна

застосувати до вже відомих задач з метою продемонструвати різні підходи до опису квантово-статистичних систем.

Ступінь наукової обґрунтованості результатів, сформульованих в роботі.

Наукові положення, які представлені в дисертаційній роботі, є добре обґрунтованими, а також належно висвітлені у висновках. Найбільш суттєві результати, отримані здобувачем, цілком відповідають меті та завданням роботи і є повною мірою відображені в опублікованих роботах.

Достовірність отриманих результатів забезпечується методологією досліджень, зокрема різностороннім та комплексним використанням загальноприйнятих теоретичних підходів при проведені досліджень, а також порівнянням з уже відомими результатами у цій галузі. Обґрунтованість отриманих результатів потверджується достатньо широкою апробацією на конференціях та публікаціями в українських і зарубіжних фахових виданнях. Все це свідчить про високий рівень наукової цінності результатів, що представлені в роботі.

Наукова новизна

Найбільш вагомі наукові результати, які вперше представлені в дисертаційній роботі Собко Б.Ю.:

− в рамках підходу теорії збурень показана залежність енергії системи магнітозаряджених еніонів від еніонного параметра і його вплив на термодинамічних функцій цієї системи;

− для змодифікованого фермі-газу знайдена залежність питомої теплоємності від параметра неадитивності та проаналізована її поведінка в границі високих та низьких температур.

− проведено аналіз опису неабелевих аніонів через двопараметричні дробові статистики та вказані межі їх застосовності до опису як різних типів еніонів, так і фермі-газу з контактною взаємодією;

− знайдено залежність питомої теплоємності змодифікованого фермі-газу від параметра неадитивності в границі високих і низьких температур.

Зв'язок роботи з державними програмами, планами, темами

Дисертаційна робота виконана на кафедрі теоретичної фізики імені професора Івана Вакарчука фізичного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка. Результати отримано, в тому числі, у рамках виконання робіт по держбюджетних темам:

ФФ-30Ф "Класичні і квантові системи з нестандартними комутаційними співвідношеннями і статистиками" (час виконання: 2016-2018 рр., номер державної реєстрації 0116U001539);

ФФ-83Ф "Квантові ефекти у фізиці одно- і багаточастинкових систем у просторах зі складною структурою" (час виконання: 2019 р., номер державної реєстрації 0119U002203);

ФФ-31Ф “Роль кількачастинкових ефектів у формуванні властивостей макроскопічних систем в обмежених геометріях” (час виконання: 2022 р., номер державної реєстрації 0122U001514), а також частково у межах проекту:

Ф64/37-2016 від ДФФД Україна “Класичні та квантові системи за межами стандартних підходів: електродинаміка у просторах вищої вимірності” (час виконання: 2016 р., номер державної реєстрації 0116U005055), за якими автор працював як виконавець.

Структура і зміст дисертації (Характеристика основних положень роботи).

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатку, який містить перелік публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми дослідження, сформульовано його мету та завдання, визначено об’єкт, предмет і методи вивчення, зазначено новизну та практичне значення отриманих результатів, а також особистий внесок здобувача, подано коротку характеристику результатів дослідження, ступінь їх апробації та публікації.

У першому розділі викладено огляд літератури, який дає уявлення про історію та сучасний стан досліджень еніонів, як абелевих так і неабелевих, а також задач, в яких еніонний підхід може бути використаний як теоретичний інструмент опису явищ. Розглянуті також дробові статистик і ті фізичні системи, які можуть бути описані з допомогою моделей, що мають за основу такі статистики, зокрема висвітлено підходи, що є застосовними до вивчення неадитивних модифікацій фермі-газу.

Другий розділ присвячений системам еніонів з магнітними зарядами, зокрема вивченню їхньої термодинаміки в магнітному полі. Знайдено спектр системи двох еніонів з магнітними зарядами та показано його взаємозв’язок із магнітною сприйнятливості цієї системи, а також розраховано другий віріальний коефіцієнт та поправки до термодинамічних функцій.

У третьому розділі вивчаються і порівнюються два підходи до опису модифікованого фермі-газу, які базуються на використанні неадитивної q-експоненти Цалліса; подані короткі відомості про теоретичні моделі, в яких використовуються неекстенсивні та неадитивні узагальнення ентропії, а також неадитивні узагальнення розподілів Бозе та Фермі. Для кожної з моделей проаналізована високотемпературна та класична границі. Для другої моделі докладно вивчена і границя низьких температур. Проведено відповідні чисельні розрахунки, а результати подані у вигляді графіків, що дає наглядне уявлення про поведінку досліджуваних величин.

В четвертому розділі розглядаються двопараметричні дробові статистики, зокрема статистика Поліхронакоса та статистика Голдейна-Ву, і їхнє застосування до моделювання фізичних систем. Розглянуто неабелеві еніони з твердою і м’якою серцевиною та показано як ці еніони можуть бути подані з допомогою двопараметричних дробових статистик. Продемонстровано два підходи до віріального розвинення, а також знайдено віріальні коефіцієнти у

неадитивній статистиці Поліхронакоса. Описана дробово-статистична модель двовимірної взаємодіючої фермі-системи зі слабкою взаємодією.

Повнота викладу матеріалів у роботах, які опубліковані автором

Основні наукові результати, отримані під час виконання дисертаційного дослідження Собко Б.Ю. належно відображені в 11 публікаціях: в 6 наукових статтях, з яких 4 індексуються в міжнародних наукометричних базах даних Scopus (1 стаття Q2, три статті — Q3), а також у 5 збірниках матеріалів доповідей на міжнародних і вітчизняних наукових конференціях. Це дає право стверджувати, що представлена дисертаційна робота є самостійним, завершеним науковим дослідженням, результати якого мають важливе значення для розвитку вітчизняної науки.

Відомості про дотримання академічної доброчесності.

У дисертації та наукових публікаціях Собко Б.Ю. відсутні порушення академічної доброчесності.

Зауваження до дисертації.

1. Використання неадитивних статистик для опису квантово-статистичних систем вимагає додаткового обговорення стосовно питання термодинамічності таких систем і, відповідно, правомірності застосування стандартних термодинамічних співвідношень та здійснення граничного термодинамічного переходу. Хоча у дисертаційній роботі ці речі згадані, однак, на мою думку, недостатньо обговорені та проаналізовані.

2. У третьому розділі дисертації подана питома ізохорна теплоємність досліджуваних модельних системи як функція температури за різних значень параметра q. При цьому кидається у вічі, що при певних значеннях цього параметра ми отримуємо або ненульову теплоємність при нульовій температурі або ця теплоємність не прямує до скінченної величини в границі високих температур. Така поведінка є нехарактерною для звичайних фізичних систем, а тому не вистачає обговорення отриманих результатів, а також сфери застосовності моделей, які до них приводять.

3. У четвертому розділі йдеться про математично простіше подання неабелевих еніонів за допомогою двопараметричних дробових статистик. Однак чіткого пояснення, в чому полягає це спрощення, і які його наслідки, не було наведено.

Всі наведені недоліки аж ніяк не впливають на позитивну оцінку дисертації. Зауваження можуть бути предметом подальших досліджень автора.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим нормам.

На мою думку, дисертаційна робота Собко Б.Ю. «Термодинамічні функції системи із дробовими статистиками», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є завершеним дослідженням, яке розглядає актуальні проблеми теоретичного вивчення термодинамічних функцій систем з дробовими

статистиками. Робота містить низку нових, актуальних та достовірних результатів, що свідчать про її складність, систематичність та важливе значення для розвитку нових підходів у сфері теоретичного опису квантово-статистичних систем. У роботі та наукових публікаціях немає порушень академічної доброчесності. Вважаю, що за актуальністю, новизною, практичним значенням та обсягом результатів дисертаційна робота відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 року, а її авторка, Собко Богдана Юріївна заслуговує присудження їй ступеня доктора філософії в галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія».

Рецензент :
кандидат фізико-математичних наук,
доцент кафедри теоретичної фізики
імені професора Івана Вакарчука О.І. Григорчак
Львівського національного університету
імені Івана Франка