

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію п. Андрія Ровенчака

Статистика Бозе і дробові статистики в теорії багаточастинкових систем

і суміжних задачах

на здобуття наукового ступеня доктора фіз.-мат. наук

(спеціальність 01.04.02 – теоретична фізика)

Метою дисертаційної роботи є розробка і застосування методів квантової статистичної фізики для аналізу багаточастинкових систем різної природи. Особливістю дисертації є те, що відправною точкою досліджень є статистика Бозе-Айнштайна – концептуальний апарат, який дозволяє зрозуміти і кількісно описати явище конденсації Бозе-Айнштайна. І хоч від часу перших спроб теоретичного опису цього явища вже минуло майже сто років, дослідження в цій і суміжних ділянках все ще залишаються актуальними. Перед тим, як перейти до детальнішого аналізу дисертації, хочу відзначити, на мій погляд, один із найбільших її здобутків. Як правило, фізичні архетипи поведінки систем взаємодіючих агентів, що часто і успішно використовуються в сучасній науці і культурі загалом, базуються на класичній статистиці. Це такі явища, як переколяція, дифузія, фазовий перехід (в його класичному розумінні), тощо. Робота Дисертанта пропонує ще один приклад – це явище бозе-айнштайнівської конденсації. Принциповою відмінністю цього явища від перелічених вище є його квантова природа. Таким чином, вказано на ще одну аналогію у поведінці складних багаточастинкових систем різної природи.

Із семи розділів основного тексту дисертації, перший розділ – оглядовий, а шість наступних, об'єднаних концептуально і методологічно, стосуються різних об'єктів. Розділи 2 і 3 присвячені аналізу поведінки взаємодіючих бозонів, розділи 4 і 5 – систем з дробовою статистикою, в розділі 6 розглядаються задачі теорії чисел, а в розділі 7 – задачі кількісної лінгвістики. **Другий розділ** дисертації присвячений розрахунку спектру елементарних збуджень багатобозонної системи та дослідженню властивостей однорідних бозе-систем зі слабкою взаємодією. Кокретні розрахунки виконано у формалізмі двочасових температурних функцій Гріна та колективних змінних. Предметом досліджень, проведених у **третьому розділі** є ідеальний бозе-газ гармонічних осциляторів у просторі низької вимірності, бозони зі слабкою взаємодією в осциляторній пастці та система одновимірних слабковзаємодіючих гармонічних осциляторів зі статистикою Джентіле. Зокрема, остання з перелічених задач може бути реалізована при аналізі фізичних систем, для яких дробова статистика Джентіле виникає ефективно, зокрема внаслідок скінченної кількості частинок або врахування міжчастинкових взаємодій. Одним із важливих результатів цього розділу є узагальнення ідеї Боголюбова про наближене вторинне квантування на випадок слабковзаємодіючого бозе-газу в гармонічній пастці. У **четвертому розділі** узагальнено дробову статистику Поліхронакоса на випадок, коли параметр цієї статистики може бути комплексним числом. Крім того, що така задача становить чисто академічний інтерес, вона може виникати при дослідженні різних фізичних систем, у яких відбуваються дисипативні процеси. Цікавим застосуванням запропонованого формалізму є розглянута в дисертації задача про одновимірну систему гармонічних осциляторів, що підлягають такій статистиці. Зокрема, передбачено існування низки послідовних фазових переходів. У **п'ятому розділі** запропоновано узагальнення відомих дробових статистик. Серед розглянутих – статистики Голдейна-Ву, Поліхронакоса, неповні та неадитивні статистики. Запропоновані Автором узагальнення використано для розгляду декількох задач: термодинаміки ідеальної системи еніонів, впливу міжчастинкової взаємодії та скінченності кількості частинок на поведінку бозонних систем. Майстерно використавши аналогію між задачами про обчислення

статистичної суми багаточастинкової системи та знаходження кількості розбиттів натурального числа, в **шостому розділі** Дисертант розглядає підходи статистичної механіки до задач теорії чисел. В мікроканонічному розподілі отримано оцінки кількості багатовимірних розбиттів на суму довільних степенів, розраховано поправку до головної асимптотики Гарді–Рамануджана для лінійних розбиттів, оцінено кількість обмежених площин розбиттів зі скінченною кількістю частин. Останній, **сьомий розділ** дисертації розглядає статистичні особливості мови, застосовуючи, таким чином, методи і концептуальний апарат квантової статистичної фізики у задачах кількісної лінгвістики. Подібно як і в попередніх розділах, таке застосування дозволяє отримати низку нових і перспективних результатів. Ще одна аналогія із властивостями квантового світу, яка тут використовується – аналогія між точністю розрахованих величин і розміром вибірок, з одного боку, та точністю одночасного вимірювання координати та імпульсу квантової частинки, з іншого.

На завершення згадаю деякі зауваження, запитання і побажання, які з'явились у мене при ознайомленні з матеріалами дисертації.

- Властивості однорідних бозе-систем із взаємодією досліджуються у розділі 2 із застосуванням теорії збурень. Класифікація рядів теорії збурень проводиться за кількістю сум за хвильовим вектором. В задачах теорії твердого тіла малий параметр таких розкладів пов'язаний із малістю ефективного об'єму взаємодії. Однак, в задачах теорії поля показано, що аналогічні розклади мають нульовий радіус збіжності і відповідні ряди для спостережуваних величин є асимптотичними. Що можна сказати про збіжність рядів теорії збурень, отриманих у дисертації для багатобозонних систем?
- В розділі 3 отримано числові оцінки для фракції бозе-конденсату та теплоємності системи бозонів у зовнішньому полі на фракталі - килимі Серпінського. З цією метою виконується аналітичне продовження за вимірністю простору D (див. формулі (3.14), (3.15) і використовується оцінка відповідних виразів при нецілій вимірності простору D. Відомо, що, крім вимірності Гаусдорфа, фрактали характеризуються низкою інших величин. Серед них спектральна вимірність, лакунарність. Одному і тому ж значенню фрактальної вимірності можуть відповідати різні значення цих величин. Тому не очевидно, що просте аналітичне продовження гамма-функції може врахувати такі ефекти. Більше того, таке аналітичне продовження не враховує самоподібності – без якої об'єкт, строго кажучи, не є фракталом. Для того, щоб претендувати на опис конденсації на килимі Серпінського, отримані в дисертації числові оцінки повинні бути підтримані додатковими аргументами.
- У четвертому розділі передбачено цікавий ефект – низку фазових переходів першого роду в системі одновимірних осциляторів, які підкоряються статистиці Поліхронакоса з комплексним параметром. Автор зазначає, що комплексний параметр статистики можна отримати внаслідок зовнішнього впливу лазером чи через ефективне врахування дисипації елементарних збуджень і оцінює можливість перевірки цього ефекту. Оскільки мова йде про відкриття нового ефекту, на мій погляд, варто приділити більшу увагу і докласти більше зусиль для теоретичного з'ясування передумов його реалізації.
- Не зрозуміло, як параметри статистичного розподілу (7.1) впливають на розподіл частота-ранг. Зокрема, чи справджується для останнього закон Зіпфа і, якщо так, наскільки універсальним є значення степеневого показника? Відомо, що кількість слів однакової частоти у тексті степенево зростає із рангом цих слів. Таке співвідношення часом називають другим законом Зіпфа. Відповідно, співвідношення частота-ранг називають першим законом Зіпфа. Зокрема, другий закон Зіпфа справедливий і для слів, що зустрічаються у тексті лише один раз – гапакс легомена. Таким чином, природно було б очікувати, що запропонована в дисертації модель може відтворювати згадану степеневу поведінку.

- Певне застереження викликає запропонована в дисертаційній роботі концепція температури тексту. І не тому, що поняття температури застосовується для характеристики системи взаємодіючих агентів нефізичної природи, приклади таких застосувань – численні, а тому, що введена в дисертаційній роботі ‘температура тексту’ є екстенсивною величиною. Див., наприклад, Рис. 7.3, де показано зміну значення ‘температури тексту’ від кількості слів у тексті. Більше того, саме введення концепції ‘температури тексту’ базується на тому, що ця величина фігурує на відповідному місці в розподілі Бозе (див. підрозділ 7.3). Таке формальне запровадження температури тексту затруднює чи принаймні приховує природнішу аналогію, на яку зважають при введенні температури системи взаємодіючих агентів нефізичної природи як величини, спряженої до ентропії, що характеризує міру безладу.
- В підрозділі 7.1 зазначено, що при аналізі розподілів слів у тексті різні словоформи вважаються різними словами. На мою думку, такий спосіб аналізу може якісно вплинути на деякі з отриманих результатів. Адже зведення всіх слів до словникової форми значно змінить як корпус аналізованого матеріалу (словник) так і частоту вживання окремих слів.

Загалом вважаю, що дисертаційна робота є глибоким, цілісним, ретельно продуманим і близьким виконаним дослідженням. У роботі відчувається висока кваліфікація Автора, його ерудиція, добре знання матеріалу і певна наукова сміливість. Більшість публікацій, у яких викладено основні матеріали дисертації (22 з 29), виконані без співавторів. Однак, читаючи ці роботи, слухаючи доповіді і спілкуючись з Дисертантом можна відчути його належність до школи професора Івана Вакарчука, наукового консультанта дисертації і видатного українського фізика. Хочу також зазначити, що теорія квантових багаточастинкових бозе-систем, розвитку якої присвячено значну частину робіт проф. Вакарчука і його учнів знайшла в роботах Андрія Ровенчака не лише достойне але і, на перший погляд, навіть несподіване продовження. Цікаво також і те, що саме це продовження – застосування квантової статистики для аналізу текстів, на мою думку, може мати цілу низку практичних застосувань.

Результати проведених п. Ровенчаком досліджень стали предметом близько сімдесяти публікацій (в двадцяти дев'яти з них викладено основні положення дисертації), що забезпечує достовірність, надійність та новизну отриманих результатів. Про важливість отриманих результатів свідчать і поклики. Так, за даними бази даних Google Scholar, станом на жовтень 2016 року роботи дисертанта було процитовано 192 рази. Основні положення дисертації вичерпно викладено в авторефераті та апробовано на численних конференціях та семінарах. Крім журнальних публікацій, дисертант є автором книжки з фізики бозе-систем (поклик 29 із приведенного в авторефераті списку), яка, зокрема, використовується при навчанні студентів-фізиків. Загалом вважаю, що дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням і цілком задовільняє вимоги, встановлені до докторських дисертацій, а її автор, п. Андрій Ровенчак, заслуговує присвоєння йому вченого ступеня доктора фізико-математичних наук.

Офіційний опонент
член-кор. НАН України
д. ф.-м.н., проф.

7 жовтня 2016 р.

Ю. Головач

Юрій Головач

Підпис завідувача лабораторії статистичної фізики складних систем ІФКС НАН України п. Ю. ГОЛОВАЧА засвідчує.
Вчений секретар
ІФКС НАН України
к. ф.-м.н.



Роман Мельник