

ВІДЗИВ

офіційного опонента

на дисертаційну роботу

Ровенчака Андрія Адамовича

“СТАТИСТИКА БОЗЕ І ДРОБОВІ СТАТИСТИКИ В ТЕОРІЇ БАГАТОЧАСТИНКОВИХ СИСТЕМ І СУМІЖНИХ ЗАДАЧАХ”, що представлена на здобуття наукового ступеню доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – “теоретична фізика”

На даний момент в наукових виданнях з'являється дуже багато публікацій, в яких досліджуються основи багаточастинкових квантових систем з різними типами статистик, включаючи і дробову. Так протягом останніх років виникли нові напрямки досліджень у квантовій механіці: квантова механіка еніонних систем, фізика бозе-ейнштейнівських конденсатів, квантові системи з деформованою алгеброю Гайзенберга, квантова інформатика, квантова криптографія, тощо. Не меншу увагу наукова спільнота приділяє й дослідженню макроскопічних квантових феноменів.

Явища бозе-ейнштейнівської конденсації в розріджених газах атомів лужних металів, надплинності в рідкому природному гелії ^4He , який є бозе-рідиною, та в рідкому гелії ^3He , який є фермі-рідиною, наряду з явищем надпровідності в електронній фермі-рідині металів являють собою унікальний прояв квантових закономірностей на макроскопічному рівні.

Протягом останніх двох десятиріч атомарні бозе-ейнштейнівські конденсати (БЕК) стали зручним полігоном нелінійної фізики завдяки унікальним можливостям експериментального контролю та відносній простоті теоретичних моделей, що дозволяють аналізувати процеси в ультрахолодних розріджених газах. З одного боку, це дозволило на якісно новому рівні перевірити експериментально раніше відомі теорії, а з іншого боку призвело до низки нових відкриттів, що стимулюють нові теоретичні дослідження.

Як показує аналіз теоретичних та експериментальних робіт, дослідження явищ надплинності в БЕКах і квантових рідинах далекі від завершення. Існує ціла низка проблем і протиріч між базисними принципами і висновками мікроскопічної теорії надплинності та експериментальними даними, отриманими при спостереженні цих явищ. Однією з найбільш важких проблем сучасної теорії надплинності є питання визначення спектру квазічастинкових збуджень в надплинних системах, а також коректне визначення їх термодинамічних властивостей. Вирішенню цих проблем, так само як і суміжних з ними проблем

квантових систем з дробовою статистикою, якраз і присвячена дисертаційна робота А.А.Ровенчака.

Усе вищесказане обумовлює загальнонаукову і практичну актуальність дисертаційної роботи А.А.Ровенчака, в якій досліджено енергетичні спектри та термодинамічні функції квантових багаточастинкових систем з різними типами взаємодій та статистик.

Дисертаційна робота присвячена розробці підходів до аналізу багатобозонних систем та систем із дробовими статистиками, дослідженню системи бозонів у пастках та впливу скінченності кількості частинок на термодинамічні функції, пошуку способів ефективного врахування в гамільтоніані доданків із трьома й чотирма операторами народження та знищення, розрахунку термодинамічних функцій гармонічних осциляторів зі статистикою Джентіле, пошуку нових типів дробових статистик, які дозволяють моделювати систему еніонів та слабковзаємодіючі скінченні бозе-системи, а також аналізу можливості існування фазових переходів у випадку комплексного параметру в системі осциляторів.

В кожній із поставлених в дисертації задач дисертант використовував найзручніші методи та підходи, що дозволило суттєво просунути фронт досліджень і поставити нові, значно складніші, питання для майбутніх дослідників. Фактично, всі проведені дослідження є новими.

Дисертаційна робота складається із вступу, семи розділів, висновків, списку цитованих джерел. Повний обсяг дисертації становить 333 сторінки тексту, враховуючи 67 рисунків і 22 таблиці. Всі розділи роботи містять ґрунтовний огляд стану проблеми на початок її розв'язання. Це сприяє порозумінню змісту дисертації.

Автором за матеріалами дисертації, опубліковано 27 статей у наукових фахових виданнях, індексованих у Web of Science і Scopus, зроблено доповіді на понад 30 конференціях та додатково проведено обговорення на наукових семінарах у вітчизняних наукових інститутах.

Практичне значення роботи, на мою думку, в основному визначається можливістю використовувати для дослідження поведінки більш реалістичних моделей розроблених в дисертаційній роботі методи розрахунку спектрів та термодинамічних характеристик бозе-систем з далекодіючим потенціалом взаємодії між частинками.

Варто підкреслити, що і в дисертації, і в авторефераті чітко, по пунктах, визначений **особистий внесок здобувача**. Вважаю, що він вагомий і задовольняє відповідним вимогам до докторських дисертацій України.

До основних результатів дисертаційної роботи, отриманих пошукачем, можна віднести, на мій погляд, такі:

1. На основі формалізму температурних функцій Гріна без використання наближення «ефективної маси» у довгохвильовій границі розраховано нахил фононної гілки спектру елементарних збуджень для гелію-4.
2. Знайдено вирази для парного міжчастинкового потенціалу, що уточнюють δ -подібну залежність у борнівському наближенні теорії розсіяння для системи слабковзаємодіючих бозонів.

3. Обчислено критичну температуру та хімічний потенціал для моделі твердих сфер із використанням теорії ідеального газу на підставі спектра Боголюбова.
4. Отримано систему рівнянь, для діагоналізації гамільтоніану слабковзаємодіючого бозе-газу в гармонічній пастці у наближенні вторинного квантування і розраховано спектр елементарних збуджень у такій системі, обчислено у пертурбативному наближенні залежність конденсатної фракції та енергії системи бозонів у гармонічній пастці від температури.
5. Запропоновано нову проміжну статистику з комплексним параметром, для якої зроблено оцінки можливості експериментального спостереження передбачених фазових переходів.
6. На основі методів аналізу бозонних багаточастинкових систем досліджено теоретико-числові задачі розбиття натуральних чисел. Зокрема, отримано оцінки кількості двовимірних розбиттів. Беручи за основу мікроканонічний розгляд бозе-системи зі степеневим спектром було зроблено оцінку кількості багатовимірних розбиттів на суму довільних степенів, причому отримані оцінки збігаються з відомими асимптотиками, розрахованими різними методами теорії чисел.

Аналіз дисертаційної роботи А.А.Ровенчака показав, що поряд з великим позитивним надбанням, до неї можна пред'явити і певні претензії. Зокрема, слід було б зробити такі зауваження:

1. Добре відомо, що вклад в структурний фактор надплинного гелію дають різні за своєю фізичною суттю складові. Одна складова пов'язана з генерацією одночастинкових збуджень з конденсатної фракції, а інша асоціюється з колективною гілкою збуджень в надплинному гелії. Незважаючи на те, що залишається відкритим питання з'ясування механізму взаємодії цих двох частин і формування неперервного спектру квазічастинкових збуджень в надплинному гелії, в роботах H.R.Glyde and A.Griffin, *Phys.Rev.Lett.* **65**, 1454, (1990), і I.Szwabinski, *Phys.Rev.* **B 64**, 184512 (2001) було показано, що аналіз температурної залежності структурного фактору передбачає однозначний зв'язок ротонних збуджень тільки з одночастинковим конденсатом, в той час як фонона частина імпульсної залежності спектру квазічастинок формується одночасно і одночастинковим і парним конденсатом (так званий сценарій Глайда-Гріффіна). Дисертаційна робота суттєво виграла би, якби при розрахунку нахилу фононної частини квазічастинкового спектру було враховано цю особливість структурного фактору, і проведено відповідні чисельні розрахунки.
2. На мою б думку, робота суттєво виграла б, якби автором було перепровірено частину отриманих в роботі чисельних результатів шляхом проведення цих же розрахунків з використанням потенціалу Азіза (R.A. Aziz and M.J.Slaman, *J.Chem.Phys.* **94**, 8047 (1991)), який найбільш точно описує двочастинкову взаємодію між атомами гелію в реальному просторі, і, крім того, є скінченим

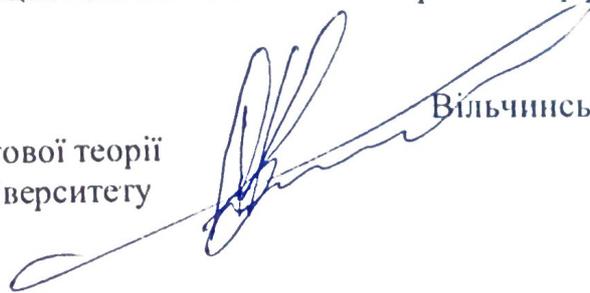
при $\mathbf{r} = 0$, тобто фур'є-образ цього потенціалу не є розбіжним. Використання такого потенціалу є недоцільним в польовій мікротеорії надплинності квантових бозе-рідин, сформульованій на основі методу функцій Гріна в імпульсному просторі, але, безумовно, цей потенціал може бути використаний в рамках підходу, застосованого автором в дисертаційній роботі.

3. У дисертації при розрахунку термодинамічних характеристик багаточастинкових бозонних систем практично не обговорюється і не враховується роль термодинамічних флуктуацій, які відіграють ключову роль безпосередньо поблизу λ -точки.
4. Робота суттєво виграла б, якби в ній було в рамках вибраних автором моделей проведено теоретичний аналіз недавнього експериментального дослідження (K. C. Wright, R. B. Blakestad, C. J. Lobb, W. D. Phillips, and G. K. Campbell *Phys. Rev. Lett.* **110**, 025302 (2013)), детермінованих квантових переходів між станами з різним орбітальним моментом атомарного БЕК в гармонічній пастці.

Але ці зауваження ніяк не впливають на загальну надзвичайно позитивну оцінку дисертації. Резюмуючи, зазначу, що дисертаційне дослідження Ровенчака Андрія Адамовича є **логічно завершеною працею**, яка виконана на високому рівні і в якій отримано низку нових важливих результатів, а її автор Ровенчак Андрій Адамович цілком заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – «теоретична фізика».

Офіційний опонент
доктор фізико-математичних наук,
професор, завідувач кафедри квантової теорії
поля Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Вільчинський С.Й.



Підпис завідувача кафедри квантової теорії поля
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка, професора
Вільчинського Станіслава Йосиповича
засвідчую:

ПІДПИС ЗА
ВЧЕНИЙ
НАРАУЛЬ
05.10



05.10.2016

Handwritten signature of Stanislav Y. Vilychynskyi