

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію **Безвершенко Юлії Василівни**

“Інтегровні моделі квантових систем в зовнішніх полях”,

поданої на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика

Теоретико-фізичні та експериментальні дослідження динаміки квантових об'єктів протягом останніх 20 років стали ще більш інтенсивними у зв'язку із зростаючими можливостями щодо керування такими системами та побудови з них квантових обчислювальних приладів. Одним із напрямків є вивчення найпростіших та найбільш ідеалізованих моделей відповідних систем. У зв'язку з цим особливо затребуваним стає напрацювання нових, або адаптація вже відомих математичних методів, які дозволяють отримувати точні та явні розв'язки відповідних задач. Дослідження інтегровних моделей квантових систем в зовнішніх полях, зокрема, використання класичної інтегровності для аналізу квантових відповідників, побудова нових точно розв'язних задач та активне застосування нетривіальних математичних методів – це основні напрямки дисертаційної роботи Ю.В. Безвершенко, які роблять цю роботу актуальною, а її результати – важливими.

В дисертації Ю.В. Безвершенко чітко сформульовано мету, постановку та розв'язки ряду задач теоретичної фізики, серед яких основними результатами, що містять наукову новизну, є наступні.

1) Встановлено тенденцію до короткочасової затримки спіну $1/2$ в деякій суперпозиції станів під дією поля, яке є сумою поля класичної задачі Рабі та осцилюючого поля вздовж третьої осі.

2) Запропоновано метод побудови явних розв'язків задачі знаходження динаміки модельного спіну $1/2$ в магнітному полі, яке є нелінійним узагальненням поля задачі Рабі, та досліджено умови резонансу в різних фізичних режимах, що ним описуються (зокрема, узагальнення зсуву Блоха-Зігерта).

3) В термінах модифікованих змінних розділення побудовано представлення спінових станів моделі центрального спіну (моделі Годена), в якому вони є пропорційними узагальненим поліномам Лагера від симетричних функцій цих змінних.

4) Знайдено явні вирази, що описують динаміку дипольного моменту атома, в тому числі, його нелінійної фази, та електромагнітного поля в моделі Джейнса-Каммінгса.

5) Показано, що у випадку використання модифікованих змінних розділення можливе інтегрування моделі Дікке із використанням апарату узагальнених тета-функцій.

6) Передбачено, що після різкої зміни параметру взаємодії солітоноподібне збудження в одновимірному бозе-конденсаті розпадеться лише на солітони за умови, що відношення кінцевого значення швидкості звуку в конденсаті до початкового є цілим.

Дисертація складається з п'яти розділів, список літератури містить 112 найменувань. Обговоримо більш докладно зміст та основні результати розділів дисертаційної роботи.

Перший розділ, який присвячено огляду наукової літератури з тематики дисертації та висвітленню сучасного стану напрямку дослідження, є прозорим та достатнім для подальшого викладу.

У другому розділі проаналізовано динаміку модельного спіну $1/2$ в магнітному полі, що складається з двох: поля задачі магнітного резонансу – такого, що обертається в одній площині та є постійним вздовж третьої осі, – та додаткового осцилюючого поля вздовж третьої осі. Було показано, що у такому полі за умови підбору потрібних параметрів можна досягти повторюваного повернення до деякої суперпозиції станів з невеликою амплітудою осциляцій, яке можна інтерпретувати як короткотривалу стабілізацію системи. Отримане явище є цікавим, хоча потребує подальшого вивчення для покращення характеристик керування. Крім того, продемонстровано можливість узагальнення результатів, отриманих для спіну $1/2$, на довільний спін.

В цьому ж розділі розглянуто динаміку дворівневої системи в деякому нелінійному полі, яке можна вважати нелінійною модифікацією поля задачі Рабі. Його амплітуда пропорційна еліптичній функції Якобі, до того ж воно містить ряд параметрів, змінюючи які можна отримати декілька фізично цікавих режимів. В дисертації побудовано схему розв'язання відповідного рівняння на амплітуди стану, яке є рівнянням типу Фукса на рімановій поверхні, та наведено явні розв'язки, що задовольняють початковим умовам, в термінах еліптичних функцій. Цей результат вимагав досить громіздких викладок, з чим дисертантка повністю впоралась. Слід зазначити, що в дисертації не лише розширено перелік полів, у яких задача динаміки дворівневих систем може бути розв'язана точно і явно, а й досліджено умови резонансу в запропонованому полі, що є фізично важливим результатом. Зокрема, отримано узагальнення зсуву Блоха-Зігерта, яке у відповідній границі відтворює відомий в літературі вираз.

У третьому розділі досліджено модель центрального спіну, яка належить до класу моделей Годена. В дисертаційній роботі застосовано дещо модифіковану процедуру введення змінних розділення (вперше використану Е. Превіато), завдяки якій всі отримані вирази є симетричними по цим змінним. Здійснено канонічне квантування моделі і побудовано представлення Шредінгера, зокрема, було отримано явні вирази для спінових операторів та гамільтоніанів. Важливим результатом є те, що вдалося виразити базис спінових станів через функції, що з точністю до експоненційного множника пропорційні до узагальнених поліномів Лагера. Цей результат дозволяє будувати будь-які стани моделі та формувати стани Бете (власні стани гамільтоніанів моделі Годена).

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено класичній версії моделі взаємодії дворівневих атомів з однододовим електромагнітним полем – моделі Джейнса-Каммінгса-Дікке. В

рамках моделі з одним атомом (модель Джейнса-Каммінгса) було отримано явні вирази для фізичних величин, що описують динаміку атома та поля, та проаналізовано поведінку атома за різних початкових умов. Зокрема, вперше отримано вираз для фази дипольного моменту атома, яка виражається у термінах еліптичних сігма-функцій. Для моделі Дікке було введено змінні розділення за схемою, аналогічною до тієї, що була використана у третьому розділі для моделі Годена (модель Дікке теж належить до цього класу). Це дозволяє використати метод інтегрування в термінах узагальнених тета-функцій. Перевагою такого підходу виявляється можливість знайти симетричні функції від усіх змінних одночасно, порівняно з відомим методом, який опонент дисертації застосовував в одній зі своїх робіт із співавторами.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи досліджено еволюцію солітонного збудження в одновимірному бозе-конденсаті після різкої зміни параметра взаємодії (так званого квенчу). Цікавим результатом є те, що за умови цілого відношення початкової швидкості звуку в квазіконденсаті до кінцевої, початкове односолітонне збудження розпадеться на цілком конкретну кількість лише солітонів. Їхні параметри обраховано. На мою думку, цей результат може бути перевірено експериментально.

В якості зауважень до тексту дисертації Ю.В. Безвершенко відмічу наступні:

1) Слід було детальніше обговорити причини використання в другому розділі саме такої нелінійної модифікації поля Рабі, зокрема, вибору виключно цілих значень параметра N .

2) Дисертантка лише намітила і не навела відповідних міркувань щодо використання дробових значень параметра N у цій задачі, розгляд яких у відповідних границях, на мою думку, має бути пов'язаним з гіпергеометричними функціями з раціональними індексами.

3) При обговоренні можливості інтегрування моделі Дікке в термінах узагальнених тета-функцій було б бажано навести приклад такого інтегрування хоча б для випадку одного атома (це відповідає узагальненим тета-функціям роду 1) та порівняти отримані вирази із розв'язками моделі Джейнса-Каммінгса, наведеними в четвертому розділі дисертаційної роботи.

4) Разом з тим, в четвертому розділі слід було принаймні обговорити можливості щодо розгляду груп вищих рангів, які призводять до негіпереліптичних кривих, зокрема, тригональних, та відповідних абелевих функцій, що знаходяться зараз в фокусі уваги дослідників теоретичної та математичної фізики.

Наведені вище зауваження скоріше варто розглядати як побажання до майбутніх досліджень у цій області. Вони жодною мірою не знижують високої оцінки отриманих дисертанткою результатів.

В підсумку відмічу, що дисертаційна робота Ю.В. Безвершенко є цілісною і завершеною науковою працею, що містить оригінальні і важливі результати з актуального напрямку в сучасній теоретичній фізиці – дослідження інтегровних моделей квантових систем та побудови точно розв'язних задач в зовнішніх полях. Результати дисертації є новими та всебічно і належним чином

обґрунтованими. Отримані наукові результати щодо динаміки квантових систем та застосування методів класичних інтегровних систем для подальшого аналізу їх квантових версій, безумовно, є корисними і перспективними. Текст дисертації написано достатньою мірою ясно і з належною теоретико-фізичною та математичною строгістю.

Результати дисертації своєчасно і в повному об'ємі опубліковано у 5 статтях у провідних фахових наукових журналах. Вони обговорювалися на авторитетних наукових конференціях, школах та семінарах. Автореферат дисертації повно передає зміст дисертації, правильно відображає структуру та основні результати дисертації. Результати і висновки дисертації, безсумнівно, становлять практичну цінність і можуть ефективно використовуватись при проведенні подальших досліджень в теоретичній фізиці. Розроблений підхід та отримані результати також можуть бути використані у підготовці спецкурсів для студентів-фізиків з теоретичних спеціальностей.

Враховуючи актуальність обраної теми досліджень, значний об'єм виконаних досліджень, наукову новизну, теоретико-фізичну цінність та обґрунтованість отриманих наукових результатів, вважаю, що дисертація Ю.В. Безвершенка "Інтегровні моделі квантових систем в зовнішніх полях" цілком відповідає всім вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Юлія Василівна Безвершенка, без сумніву, заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика.

Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник,
запрошений професор Центру
прикладних космічних технологій та мікрогравітації
(Університет м. Бремена, Німеччина)

В.З. Енольський

Підпис доктора фізико-математичних наук
Енольського Віктора Зеліковича засвідчую:
Виконавчий директор Центру
прикладних космічних технологій
та мікрогравітації
(Університет м. Бремена, Німеччина),
професор, доктор природничих наук

Клаус Лемерцаль
(Prof. Dr. Claus Laemmerzahl)