

**ЗАТВЕРДЖУЮ**



Директор Інституту теоретичної фізики

ім. М. М. Боголюбова НАН України

академік НАН України

Анатолій ЗАГОРОДНІЙ

“ 22 ” лютого 2024 р.

## **ВИСНОВОК**

**відділу математичних методів в теоретичній фізиці  
Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України  
про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів  
дисертації Журавльова Юрія Сергійовича на тему:  
«Метод ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях»,  
поданої на здобуття ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія,  
10 – Природничі науки**

## **ВИТЯГ**

з протоколу № 2 від 15 лютого 2024 р. засідання  
семінару відділу математичних методів в теоретичній фізиці  
Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України

**СЛУХАЛИ:** аспіранта відділу математичних методів в теоретичній фізиці  
Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України  
Журавльова Юрія Сергійовича за матеріалами дисертаційної роботи “Метод  
ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях”, що  
висувається на здобуття наукового ступеня доктора філософії за  
спеціальністю 104 – Фізика та астрономія.

## **ПРИСУТНІ:**

керівник семінару: доктор фіз.-мат. наук, професор О. М. Гаврилик;

академік НАН України, доктор фіз.-мат. наук, проф. В.М. Локтев,  
академік НАН України, доктор фіз.-мат. наук, проф. Б.І. Лев,  
член-кореспондент НАН України, доктор фіз.-мат. наук, проф. В.П. Гусинін;  
доктори фіз.-мат. наук: М.З. Іоргов, професор М.І. Горенштейн,  
С.М. Перепелиця, О.В. Золотарюк, О.О. Вахненко, А.В. Назаренко,

В.І. Засенко, А.О. Семенов, Я.О. Золотарюк, С.Г. Шарапов,  
Л.М. Христофоров;

кандидати фіз.-мат. наук та доктори філософії: Ю.В Тихий, Ю.М. Беспалов,  
Ю.А. Міщенко, О. Черняк, М. Аджимамбетов, А. Рудаковський;

аспіранти: Ю.С. Журавльов, О.П. Михайлів, Е.Ю. Найчук, О.В. Янчишен;

**УХВАЛИЛИ:** вважати дисертаційну роботу Ю.С. Журавльова “Метод ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях” завершеним науковим дослідженням і затвердити такий висновок.

## ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Журавльова Юрія Сергійовича “Метод ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях” написана за матеріалами трьох робіт, що виконані ним під час навчання в аспірантурі в Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України (2020-2024 рр.) у відділі математичних методів в теоретичній фізиці та роботи на посаді провідного інженера в Інституті теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України (2020-2024 рр.) у відділі математичних методів в теоретичній фізиці. Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Інституту теоретичної фізики ім. М. М. Боголюбова НАН України від 24 грудня 2020 р., керівником призначено доктора фіз.-мат. наук, старшого наукового співробітника, завідувача лабораторії теорії інтегровних систем М.З. Іоргова.

### Тематика дисертації та її актуальність

Дисертація присвячена вивченню кореляційних функцій в одновимірних квантових інтегровних системах. Дослідження зосереджено на отриманні точних виразів для кореляційних функцій та їх асимптотичному аналізу в термодинамічній границі (розмір системи прямує до нескінченності). Асимптотичний аналіз кореляційних функцій був проведений за допомогою нового розробленого методу — методу ефективних формфакторів. Цей метод дозволяє досліджувати асимптотику кореляційних функцій, представлених у вигляді детермінантів Фредгольма певних інтегральних операторів.

Є кілька важливих причин для вивчення одновимірної квантової фізики. Перш за все, квантові одновимірні моделі завжди привертати велику увагу завдяки багатству математичних структур, які виникали при дослідженні їхніх кореляційних функцій, і завдяки можливості дослідження непертурбативних явищ. Кульмінацією цих розробок стало формулювання

моделі Латтінжера, що є ефективною теорією поля при низьких температурах.

Ще одна причина — необхідність пояснення сучасних експериментів із холодними атомами. Недовірно було спостережено багато неочікуваних властивостей в поведінці одновимірних квантових систем. Відмітимо роботу *Kinoshita et al (2006)*, в якій автори спостерігали, що для системи холодних атомів, обмежених одновимірним рухом, початково збурена система не переходила до стану рівноваги протягом тривалого часу. Така поведінка є типовою для інтегровних систем, які мають багато інтегралів руху, що запобігають термалізації системи. Зацікавленість у нерівноважній динаміці або динаміці високо збуджених станів стимулювала багато теоретичних досліджень, що призвели до виникнення нових концепцій, таких як узагальнені ансамблі Гіббса, метод квенч-дії (quench action), узагальнена гідродинаміка та інші.

Інша важлива причина для дослідження одновимірних квантових систем пов'язана із мініатюризацією електронних пристроїв та необхідності вивчати транспорт в одновимірних системах. Одним із найбільш дивовижних явищ у цій області є квантування провідності в квантових точкових контактах. Теоретичне пояснення цього явища було зроблено за допомогою формалізму Ландауера-Бюттікера, який пов'язує матрицю проходження з провідністю. Хоча в елементарній теорії тунелювання ймовірність проходження визначається в стаціонарній постановці задачі, в дисертаційній роботі було приділено багато уваги нерівноважному підходу до задачі транспорту.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

У дисертації отримано наступні оригінальні результати:

1. Вперше запропоновано та застосовано метод ефективних форм-факторів для дослідження асимптотики кореляційних функцій у різних квантових одновимірних моделях. Зокрема, була отримана асимптотика для кореляційних функцій в моделі XY та більш загальна асимптотика детермінантів Тепліца з неперервним символом, що має довільне ціле число намотування.
2. Отримано асимптотики кореляційних функцій в одновимірній моделі еніонів на ґратці для великих часу та відстані в часоподібному та простороподібному режимах. У часоподібному режимі ефективна фаза стає розривною. Для цього режиму була розроблена процедура регуляризації, що дозволила отримати, окрім експоненціального спаду, додатковий степеневий множник. Було показано, що цей результат є універсальним, оскільки він

пов'язаний виключно із розривною поведінкою функції фазового зсуву. При спеціальному значенні еніонного параметра була, зокрема, переотримана асимптотика спін-спінових динамічних кореляційних функцій у моделі квантового ХХО спінового ланцюжка, відомої з інших робіт.

3. Було отримано явний вираз для повної статистики переносу заряду та струму через довільний статичний дефект для одновимірної системи із перших принципів. Виведення базується на ефективному представленні функції Гріна в термодинамічній границі через данні розсіяння. Остаточна відповідь виражається за допомогою визначника Фредгольма деякого інтегрального оператора. Асимптотика на великих часах отриманого визначника Фредгольма залежить лише від коефіцієнта проходження потенціалу після початкового збурення, тоді як інформація про початковий стан присутні лише в розподілі густини енергії. Після цих наближень визначник Фредгольма був проаналізований методом підсумовування ефективних форм-факторів. Зокрема, у випадку ненульові температури та відсутності зв'язних станів у потенціалі, отриманий результат дає відому асимптотичну формулу Левітова–Лесовика та струм Ландауера–Бюттікера. Показано, що наявність зв'язаних станів призводить до осцилюючої поведінки струму на великих часах.

### **Теоретичне та практичне значення одержаних результатів**

Дисертаційна робота має теоретичний характер. Результати, отримані в дисертації, можуть бути використані при дослідженні динамічних властивостей квантових систем. Основним методом дослідження асимптотичної поведінки кореляційних функцій був обраний метод ефективних форм-факторів, який був розроблений Юрієм Журавльовим разом із співавторами робіт, на яких базується дисертаційне дослідження. Цей метод є альтернативним до існуючих методів, таким як підхід Рімана–Гільберта, термодинамічний анзац Бете, теорія рідини Латтінжера тощо. Основна перевага метод ефективних форм-факторів полягає в його відносній простоті порівняно з більш стандартними методами.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертаційну роботу виконано у відділі математичних методів теоретичної фізики Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України в рамках теми «Симетрії, деформації та інтегровність в моделях квантових полів і частинок», номер державної реєстрації в УкрІНТЕІ 0117U00023 (2017 — 2021 рр.), а також «Деформаційні і симетрійні аспекти та інтегровність і точна розв'язність моделей квантової фізики», номер державної реєстрації в



УкрІНТЕІ 0122U000888 (2022-2026 рр.). Крім того, роботи, на яких основана дисертація були підтримані грантом Національного фонду досліджень України 2020.02/0296 «Рівноважні та нерівноважні процеси в інтегровних квантових моделях фізики конденсованого стану» (2020 – 2021, 2023 рр.).

### **Основні результати дисертації викладені у 3 роботах у наукових журналах:**

1. O. Gamayun, N. Iorgov and Y. Zhuravlev, Effective free-fermionic form factors and the XY spin chain, SciPost Physics 10(3) (2021), [Q1]  
[doi:10.21468/scipostphys.10.3.070](https://doi.org/10.21468/scipostphys.10.3.070) .
2. Y. Zhuravlev, E. Naichuk, N. Iorgov and O. Gamayun, Large-time and long-distance asymptotics of the thermal correlators of the impenetrable anyonic lattice gas, Physical Review B 105(8) (2022), [Q1]  
[doi:10.1103/physrevb.105.085145](https://doi.org/10.1103/physrevb.105.085145) .
3. O. Gamayun, Y. Zhuravlev and N. Iorgov, On Landauer–Büttiker formalism from a quantum quench, Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical 56 (20), 205203 (2023) [Q2],  
[doi:10.1088/1751-8121/accabf](https://doi.org/10.1088/1751-8121/accabf) .

### **Апробація результатів дисертації**

Результати дисертаційної роботи Юрія Журавльова доповідались на наступних конференціях:

1. Yurii Zhuravlov, "Effective free-fermionic form factors on a lattice and XY quantum chain", XI CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS "PROBLEMS OF THEORETICAL PHYSICS", 21-23 December 2020,  
<https://indico.bitp.kiev.ua/event/7/contributions/193/>
2. Yurii Zhuravlov, "Large time and long distance asymptotics of the thermal correlators of the impenetrable anyonic lattice gas", XII CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS "PROBLEMS OF THEORETICAL PHYSICS", 21-22 December 2021,  
<https://indico.bitp.kiev.ua/event/8/contributions/228/>
3. Yurii Zhuravlov, "On Landauer–Büttiker formalism from a quantum quench", XIII CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS "PROBLEMS OF THEORETICAL PHYSICS", 21 December 2022,  
<https://indico.bitp.kiev.ua/event/10/contributions/245/>

## Характеристика особистості здобувача

Юрій Сергійович Журавльов у 2017 р. закінчив кафедру квантової теорії поля Київського національного університету імені Тараса Шевченка та отримав ступінь магістра за спеціальністю «Фізика ядра та фізика високих енергій». З 2020 по 2024 рік навчається в аспірантурі Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України з відривом від виробництва за спеціальністю 104 – Фізика та астрономія. Також Юрій Журавльов працює на посаді провідного інженера відділу математичних методів в теоретичній фізиці Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України. Основним науковим напрямком діяльності Юрія Журавльова є теорія квантових інтегровних систем та їх застосування у фізиці.

### УХВАЛЕНО:

1. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Журавльова Юрія Сергійовича “Метод ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях”.
2. Визнати, що за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів дисертація Журавльова Ю.С. відповідає спеціальності 104 Фізика та астрономія та вимогам **Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах)**, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. **6, 7, 8 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 від 12 січня 2022 р. № 44 та Постановою Кабінету Міністрів України «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань підготовки та атестації здобувачів наукових ступенів» від 19 травня 2023 р. № 502.
3. Рекомендувати дисертацію Журавльова Ю.С. “Метод ефективних форм-факторів в квантових інтегровних моделях” до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 104 Фізика та астрономія.

4. Рекомендувати вченій раді Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України затвердити склад разової спеціалізованої вченої ради:

**Голова ради:**

**Лев Богдан Іванович**, доктор фіз.-мат. наук, професор, академік НАН України, завідувач відділу синергетики Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України.

**Рецензенти:**

**Томченко Максим Дмитрович**, кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України,

**Шарапов Сергій Геннадійович**, доктор фіз.-мат. наук, старший дослідник, завідувач лабораторії сильнокорельованих низьковимірних систем Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України.

**Офіційні опоненти:**

**Дудка Максим Леонідович**, доктор фіз.-мат. наук, старший дослідник, завідувач відділу статистичної теорії конденсованих систем Інституту фізики конденсованих систем НАН України.

**Слободенюк Артур Олексійович**, кандидат фіз.-мат. наук, науковий співробітник фізико-математичного факультету Карлового університету, Прага, Чеська Республіка.

**Головуючий на засіданні:**

завідувач відділу математичних методів  
в теоретичній фізиці

Інституту теоретичної фізики  
ім. М. М. Боголюбова НАН України,  
доктор фіз.-мат. наук, професор,



Олександр ГАВРИЛИК