

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Керівник підприємства/установи/організації  
(Грантоотримувача)

Директор Інституту теоретичної фізики  
ім. М.М. Боголюбова НАН України

Анатолій ЗАГОРОДНІЙ  
(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)



**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту  
із виконання наукових досліджень і розробок  
Рівноважні та нерівноважні процеси в інтегровних  
квантових моделях фізики конденсованого стану  
(назва Проєкту)

Назва конкурсу: Підтримка досліджень провідних та молодих учених  
Ресстраційний номер Проєкту: 2020.02/0296

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (ресстраційний номер та назва Проєкту) 2020.02/0296 «Рівноважні та нерівноважні процеси в інтегровних квантових моделях фізики конденсованого стану»

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих учених (назва конкурсу) протокол від «16-17» вересня 2020 року № 21.

## 1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 30 квітня 2021 р.  
(дата укладання Договору про виконання наукового дослідження і розробки)

Закінчення – 15 грудня 2021 р.

Загальна вартість Проєкту, грн. 2 752 680

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 360 000 грн. \_\_\_\_\_

2-й рік 1 092 680 грн. \_\_\_\_\_

3-й рік 1 300 000 грн. \_\_\_\_\_

## 2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 3 виконавців, з них:

доктори наук 1;

кандидати наук 1;

інші працівники 1.

**Інформація про виконавців (авторів) Проєкту** (в тому числі особи, які будуть залучені до виконання Проєкту за трудовим договором або угодою цивільно-правового характеру: ПІБ, основне місце роботи, посада, науковий ступінь).

1. Іоргов Микола Зіновійович [Керівник проєкту], Інститут теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова НАН України, завідувач лабораторії теорії інтегровних систем, доктор фіз.-мат. наук.

2. Гамаюн Олександр Володимирович, Інститут теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова НАН України, в.о. старшого наукового співробітника лабораторії теорії інтегровних систем, кандидат фіз.-мат. наук.

3. Журавльов Юрій Сергійович, Інститут теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова НАН України, провідний інженер лабораторії теорії інтегровних систем.

### **3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(Ї) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ**

#### **ГРАНТООТРИМУВАЧ:**

ІНСТИТУТ ТЕОРЕТИЧНОЇ ФІЗИКИ ІМ. М.М. БОГОЛЮБОВА

Організаційно-правова форма установи: Державна установа

Підпорядкованість установи: НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Код ЄДРПОУ 05417124

Код(и) КВЕД 72.19, 85.42

Стратегічні напрями наукової діяльності:

фізика і астрофізика високих енергій, квантова космологія; квантова теорія поля, симетрії в квантовій фізиці, теорія ядерних систем; теорія нелінійних процесів в макромолекулярних структурах, наносистемах і плазмі; динаміка відкритих фізичних, біологічних та економічних систем

Юридична адреса установи: 03143, м.Київ, ВУЛИЦЯ МЕТРОЛОГІЧНА, будинок 14-Б

Телефон: +380 (44) 526-53-62

Адреса електронної пошти: [itp@bitp.kiev.ua](mailto:itp@bitp.kiev.ua)

Посилання на веб сторінку установи: <http://bitp.kiev.ua/>

#### **СУБВИКОНАВЦІ ВІДСУТНІ.**

### **4. ОПИС ПРОЄКТУ**

#### **4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)**

Метою цього проєкту є дослідження рівноважних і нерівноважних процесів у низьковимірних квантових інтегровних системах та розвиток математичних методів для їх вивчення.

#### **4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)**

Розробка і дослідження методу модифікованого форм-факторного розкладу для асимптотичного аналізу кореляційних функцій за скінченної температури (ентропії). Застосування цього методу до фізичних систем вільних ферміонів, сильновзаємодіючих систем разом із відповідною чисельною перевіркою передбачень, математичних задач, пов'язаних з рівняннями Пенлеве та детермінантами Фредгольма.

#### 4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Загальні квантові одновимірні системи можуть бути описані за допомогою моделі Томонаги-Латтінжера (ТЛ). Основним наближенням є лінійність спектру, яка порушується в системах зі скінченною ентропією. Однією зі спроб врахувати кривину спектру збуджень є феноменологічна нелінійна модель ТЛ, яка розглядає високоенергетичні збудження як мобільну домішку [Rev. Mod. Phys. 84, 1253 (2012)].

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Новизна полягає в моделюванні початкового стану системи через модифікацію форм-факторів та зведення системи до випадку нульової температури. Планується узагальнити знаходження асимптотики вакуумних кореляційних функцій в системах вільних ферміонів з довільною фазою розсіяння. Узагальнюючи отриманий досвід, будуть розроблені нові ефективні чисельні методи для сильновзаємодіючих систем.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Методологія досліджень полягає в синтезі різних математичних методів: методи підсумовання форм-факторних рядів у моделях квантової теорії поля, що пов'язані з вільними ферміонами; задача Рімана-Гільберта для знаходження асимптотики детермінантів Фредгольма, зокрема, метод аналізу Дейффа-Ітса-Жоу, що є нелінійним аналогом методу найшвидшого спуску; методи конформної теорії поля.

#### 5. ОТРИМАНІ НАУКОВІ АБО НАУКОВО-ТЕХНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ (до 2 сторінок) в поточному році/ в рамках реалізації Проєкту, зокрема:

##### 5.1. Опис наукових або науково-технічних результатів, отриманих в рамках виконання Проєкту (із зазначенням їх якісних та кількісних (технічних) характеристик)

В рамках виконання наукового проєкту в поточному році отримано наступні наукові результати:

1. Отримано точний аналітичний вираз для асимптотики кореляційної функції моделі еніонів на великих відстанях та часах в простороподібній та часоподібній областях. Виявилось, що в часоподібній області кривина спектру відіграє суттєву роль і змінює асимптотичну поведінку з чистого експоненціального затухання на експоненціальне затухання модифіковане степеневим префактором.
2. Знайдено термодинамічну границю форм-факторів в моделі мобільної домішки, виконано підсумовування м'яких мод та отримано асимптотичну поведінку функції Гріна на великих часах та відстанях. Було досліджено статичну функцію Гріна для домішки в газі за скінченної температури (одночастинкову матрицю густини). Отримано аналітичний вираз для кореляційної довжини, а також показано, що окрім експоненціального затухання присутній додатковий степеневий префактор.
3. Отримано вираз для середнього імпульсу мобільної домішки, що розповсюджується у газі вільних ферміонів і взаємодіє з ними контактено. Було розглянуто два протоколи інжектування: quench protocol та kick protocol. Використовуючи ефективні форм-фактори для фредгольмового детермінанту була знайдена асимптотика середнього значення імпульсу домішки для великих часів. Виявилось, що навіть за скінченної температури мобільна домішка не зупиняється.
4. Знайдено функцію Гріна багатоелектронних станів в задачі рентгенівського поглинання в металі для спеціального вигляду потенціалів, що екранують електрони. Ця функція Гріна представлена детермінантом Фредгольма та її асимптотика на великих часах була досліджена аналітично. Явний вигляд асимптотики дозволив отримати степеневу сингулярну поведінку

спектральної функції поглинання. Ці результати були узагальнені на довільний потенціал за допомогою методу оберненої задачі розсіяння.

5. Всі аналітичні формули були перевірені за допомогою чисельних обрахунків.

Ці результати були представлені на наукових конференціях та онлайн-семінарах (Київ, Париж, Амстердам, Варшава).

Публікації в поточному році, які містять опис отриманих результатів в рамках проєкту:

1. O. Gamayun, N. Iorgov, Yu. Zhuravlev, Effective free-fermionic form factors and the XY spin chain, SciPost Phys. 2021. V. 10, 070.

2. Yu. Zhuravlev, E. Naichuk, N. Iorgov, O. Gamayun, Large time and long distance asymptotics of the thermal correlators of the impenetrable anyonic lattice gas, arXiv:2110.06860.

### **5.2. За наявності науково-технічної продукції обґрунтування її переваг у порівнянні з існуючими аналогами**

---

### **5.3. Практична цінність отриманих результатів реалізації Проєкту для економіки та суспільства (стосується проєктів, що передбачають проведення прикладних наукових досліджень і науково-технічних розробок)**

---

### **5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.**

На основі отриманих результатів в рамках виконання проєкту готуються науково-популярні лекції для широкого загалу. При виконанні проєкту були задіяні молоді науковці та студенти старших курсів. Вони отримують досвід наукової роботи в сучасних напрямках фізики конденсованого стану, математичної фізики та обчислювальних методів.

Примітка: Анотований звіт не повинен містити відомостей, заборонених до відкритого опублікування

**Науковий керівник Проєкту**  
завідувач лабораторії теорії інтегровних систем  
Інституту теоретичної фізики  
ім. М.М. Боголюбова НАН України  
(посада)

Микола ІОРГОВ

(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

