

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Директор

ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України

чл.-кор. НАН України

Ю.Г. Найдюк

«14» квітня 2023 р.



## **В И С Н О В О К**

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення  
результатів дисертації на здобуття ступеня доктора філософії з  
галузі знань 10 «Природничі науки»**

**за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія»**

**БАГРОВОЇ Ольги Миколаївни**

**«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ЯВИЩА В НОРМАЛЬНИХ ТА  
НАДПРОВІДНИХ НАНОСТРУКТУРАХ НА  
ОСНОВІ РУХОМОЇ КВАНТОВОЇ ТОЧКИ»**

**Витяг з протоколу № 225**

**від 11 квітня 2023 р.**

фахового семінару-спільного засідання Наукової Ради з проблеми «Теоретична фізика конденсованого стану» Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України та відділу теоретичної фізики Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна Національної академії наук України

**Головує** – Голова Наукової ради з проблеми «Теоретична фізика конденсованого стану» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики, доктор фіз.-мат. наук, професор Ковальов О.С.

**Секретар** - учений секретар Наукової Ради з проблеми «Теоретична фізика конденсованого стану» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, кандидат фіз.-мат. наук, наук. співр. відділу теоретичної фізики Ільїнська О.О.

**Присутні члени Наукової Ради з проблеми «Теоретична фізика конденсованого стану» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, наукові співробітники відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, фахівці та аспіранти ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України:**

- Богдан Михайло Михайлович, д.ф.-м.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Звягін Андрій Анатолійович, д.ф.-м.н., професор, головний науковий співробітник відділу відділ математичної фізики
- Ковальов Олександр Семенович, голова Ради, д.ф.-м.н., професор, провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Колесніченко Юрій Олексійович, д.ф.-м.н., професор, головний науковий співробітник відділу мікроконтактної спектроскопії
- Микитик Григорій Петрович, д.ф.-м.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Монарха Юрій Петрович, д.ф.-м.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Нацик Василь Дмитрович, д.ф.-м.н., професор, головний науковий співробітник відділу фізики фізики реальних кристалів
- Пастур Леонід Андрійович, академік НАН України, д.ф.-м.н., професор, головний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Піщанський Валентин Григорович, д.ф.-м.н., професор.
- Сиркін Євген Соломонович, д.ф.-м.н., професор, провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Славін Віктор Валерійович, д.ф.-м.н., с.н.с., завідувач відділу теоретичної фізики
- Фрейман Юрій Олександрович, д.ф.-м.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу математичної фізики
- Чишко Костянтин Олексійович, д.ф.-м.н., доцент, провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Шевченко Сергій Іванович, д.ф.-м.н., с.н.с., провідний науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Шевченко Сергій Миколайович, д.ф.-м.н., с.н.с., завідувач відділу надпровідних і мезоскопічних структур
- Ільїнська Ольга Олександрівна, секретар Ради, к.ф.-м.н., науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Константинов Олександр Михайлович, к.ф.-м.н., молодший науковий співробітник відділу теоретичної фізики



- Кулініч Сергій Іванович, к.ф.-м.н., с.н.с., старший науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Лаптев Денис Володимирович, к.ф.-м.н., науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Манжелій Олена Вадимівна, к.ф.-м.н., с.д., старший науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Федорченко Олексій Віталійович, к.ф.-м.н., завідувач відділу магнітних і пружних властивостей твердих тіл
- Чаркіна Оксана Вікторівна, к.ф.-м.н., старший науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Шарлай Юрій Васильович, к.ф.-м.н., старший науковий співробітник відділу теоретичної фізики
- Люль Максим Петрович, аспірант відділу надпровідних і мезоскопічних структур
- Івахненко Олег Володимирович, аспірант відділу надпровідних і мезоскопічних структур
- Ришов Артем Ігорович, аспірант (відділ надпровідних і мезоскопічних структур)

Усього: докторів наук – 15 , кандидатів наук – 8, без наукового ступеня – 3. У тому числі фахівців із галузі науки, що відноситься до спеціальності дисертації: докторів наук – 12, кандидатів наук – 8, без наукового ступеня – 3. Пристуні 16 з 23 членів Наукової Ради з проблеми «Теоретична фізика конденсованого стану» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України.

#### **СЛУХАЛИ:**

Апробацію дисертації «Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої квантової точки» молодшого наукового співробітника ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України Ольги Багрової, яка виступила з науковою доповіддю та представила основні наукові результати дисертації.

У доповіді Ольга Багорова обґрунтувала актуальність теми, сформулювала мету і завдання дослідження, його наукову новизну, практичну і теоретичну значимість, розповіла зміст і структуру роботи, її основні результати і методи її отримання, підсумувала доповідь висновками.

В обговоренні взяли участь:

- **науковий керівник**, старший науковий співробітник відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, кандидат фіз.-мат. наук, ст. наук.

співр. Кулініч С.І. (*виступ позитивний*).

- завідувач відділу теоретичної фізики, доктор фіз.-мат.наук, ст. наук. співр. Славін В.В. (*виступ позитивний*);
- завідувач відділу надпровідних і мезоскопічних структур, с.н.с., доктор фіз.-мат. наук Шевченко С.М. (*виступ позитивний*).

Також ставили запитання та прийняли участь в обговоренні роботи:

- доктор фіз.-мат.наук, с.н.с., п.н.с. Богдан М.М.;
- доктор фіз.-мат.наук, проф., п.н.с. Ковальов О.С.;
- доктор фіз.-мат.наук, проф., п.н.с. Звягін А.А.;
- доктор фіз.-мат.наук, с.н.с., п.н.с. Микитик Г.П.;
- доктор фіз.-мат.наук, с.н.с., п.н.с. Монарха Ю.П.

На всі поставлені питання доповідачка надала ґрунтовні відповіді. Виступаючі відмітили актуальність теми дослідження, новизну та значну наукову цінність отриманих результатів і зазначили, що робота виконана самостійно і відповідає всім вимогам на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

На підставі доповіді здобувача, відповідей на запитання учасників фахового семінару, наукової дискусії та обговорення дисертації учасниками фахового семінару, спільне зібрання дійшло **ВИСНОВКУ**:

**1. Дисертація Ольги Миколаївни БАГРОВОЇ «Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої квантової точки», що подається на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» є цілісною та завершеною науковою працею теоретичного характеру на актуальну тему, виконаною на високому рівні.**

Дисертацію підготовлено у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України.

Тему дисертаційної роботи О. М. Багрової було затверджено на засіданні Вченої ради ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України від 12 грудня 2018 року (протокол № 11).

Науковим керівником О. М. Багрової було призначено завідувача відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, доктора фіз.-мат. наук, професора І. В. Криве (наказ директора ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України від 17.09. 2018 р. № 99-ОД). Після передчасної кончини І. В. Криве у 2021 р. науковим керівником О. М. Багрової було призначено старшого наукового співробітника відділу теоретичної фізики ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, кандидата фіз.-мат. наук, ст. наук. співр. С. І. Кулініча (наказ директора ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України від 15.01.2021 р. № 4-ОД).



Дослідження, які склали основу дисертаційної роботи, проводились в рамках тематичного плану ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України за науково-дослідними роботами відомчої тематики: «Теоретичні дослідження колективних явищ у квантових конденсованих структурах та наноматеріалах» (номер державної реєстрації 0117U002292, шифр 1.4.10.26.4, термін виконання 2017 – 2021 рр.), «Теоретичні дослідження квантових явищ у складних низьковимірних конденсованих середовищах» (номер державної реєстрації 0122U001505, шифр 1.4.10.26.5, термін виконання 2022 – 2026 рр.).

Частина дисертаційної роботи була виконана в рамках програми академічної мобільності, що виконувалась за Угодою про міжнародне співробітництво Фізико-технічним інститутом низьких температур ім. Б.І. Веркіна Національної академії наук України, м. Харків, Україна та Центром теоретичної фізики складних систем інституту фундаментальних наук, м. Теджон, Республіка Корея, де О.М. проходила наукове стажування за підтримки проєктів «Condensed matter theory at nanoscale» (IBS-R024-D1) та «Disorder and chaos in low-dimensional systems» (IBS Young Scientist Fellowship (IBS-R024-Y3-2021)).

## **2. Актуальність теми дослідження.**

Нанотехнології знаходяться на передньому краї сучасної науки. Сучасна техніка дозволяє маніпулювати молекулярними орбіталями однієї молекули та створювати на основі молекул транзистори високої якості. Одномолекулярні транзистори, які найчастіше вивчаються в експериментах, являють собою пристрій на основі макромолекул (фулеренів або вуглецевих нанотрубок), в якому ця молекула тунельно з'єднана з електродами витоку і стоку та ємнісно з'єднана з електродом затвора. В результаті взаємодії механічних (вібронних) та електронних ступенів свободи транспортні властивості такого нанорозмірного транзистора кардинально змінюються.

Основним новим ефектом, який спричинено впливом вібронної підсистеми, є поява непружних каналів тунелювання електронів в одноелектронному транзисторі. Для сильної електрон-вібронної взаємодії електричний струм при низьких напругах сильно пригнічується (блокада Франка-Кондона або поляронна блокада), а зняття цієї блокади напругою або температурою призводить до сходинкоподібної вольт-амперної характеристики та немонотонної температурної залежності провідності. Якщо вібронні збудження центральної частини транзистора пов'язані з тепловим оточенням, а час релаксації їх набагато менший за характерний час тунелювання електронів, то вібронна підсистема перебуває в рівноважному стані. Зазвичай розглядається транспорт електронів через молекулярний транзистор для випадку, коли

віброна підсистема перебуває у рівноважному стані. Однак, такий підхід не дає правильного результату, коли зв'язок віброна підсистеми з навколишнім середовищем є слабким.

З іншого боку, наноелектромеханічні системи (НЕМСи) передбачають ефективний підхід для дослідження квантовомеханічної взаємодії між механічною та електронною підсистемами. Одним з найважливіших явищ, що лежить в основі функціональності НЕМС є генерація самопідтримних механічних коливань під дією постійної напруги. До того ж наноелектромеханічні системи передбачають маніпулювання механічним рухом наноб'єкта за допомогою електронної динаміки. Існує багато підходів до керування наномеханічними характеристиками, що забезпечують низку нових функціональних можливостей роботи нанопристроїв, зокрема, накачка або охолодження механічної підсистеми. Один з основних підходів використовує електронний потік через наносистему, індукований або тягучою напругою, або перепадом температури між двома електродами.

Загалом існує кілька типів взаємодії між електронною та механічною підсистемами. Найчастіше така взаємодія виникає завдяки локалізації заряду або спіну електрона. Однак включення до складу НЕМС надпровідних елементів дозволяє використовувати зв'язок, що виникає за рахунок делокалізації куперівських пар, як основу для підвищення ефективності електромеханічних пристроїв.

Описане вище коло невирішених питань, що стосуються дослідження наноелектромеханічних систем і поляронних ефектів в молекулярних транзисторах, визначає *актуальність* теми дослідження даної дисертаційної роботи.

### **3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом, та їх новизна.**

У дисертаційній роботі вперше отримано наступні результати:

- досліджено електронний транспорт через одномолекулярний транзистор для випадку, коли механічна підсистема знаходиться у нерівноважному когерентному стані, зокрема, отримано вольт-амперні характеристики такого транзистора;
- показана можливість генерації квантової заплутаності між зарядовими станами кубіта та когерентними станами наномеханічного резонатора за допомогою протоколу маніпуляції тягучою напругою;
- досліджено квантову динаміку гібридної наноелектромеханічної системи на основі вуглецевої нанотрубки, що виникає завдяки надпровідному ефекту близькості;



- знайдено області нестійкості для наноелектромеханічної системи на основі вуглецевої нанотрубки та отримано явище самонасичення, що виникають як результат делокалізації куперівських пар завдяки ефекту близькості;
- теоретично отримано ефект охолодження до основного стану наномеханічних коливань для наноелектромеханічної системи, де електромеханічний зв'язок має квантову природу — ефект, що теж виникає внаслідок ефекту близькості.

#### **4. Достовірність результатів та обґрунтованість положень і висновків дисертаційної роботи.**

Наукові положення, що виносяться на захист, строго обґрунтовані та добре узгоджуються із сучасними теоретичними уявленнями, а їх достовірність забезпечується високим рівнем проведених теоретичних розрахунків та тісним зв'язком із сучасними експериментальними дослідженнями у цій галузі. Здобувачка особливу увагу приділила розробці можливих експериментальних шляхів виявлення розглянутих теоретично ефектів.

Загалом, наукові положення, що виносяться на захист, логічним чином витікають із матеріалів, викладених в дисертації, які пройшли незалежне рецензування та опубліковані у наукових фахових журналах, які включено до міжнародних наукометричних баз Web of Science та Scopus, тому їх достовірність не викликає сумнівів.

Всі основні результати дисертації та їх інтерпретація неодноразово обговорювалися на вітчизняних і міжнародних наукових конференціях і семінарах у кількох наукових центрах.

#### **5. Повнота викладу матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок здобувача в публікації.**

Основні положення дисертації опубліковано в десяти наукових працях, серед яких чотири статті у міжнародних виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз (Scopus, Web of Science) і відносяться до квартилю Q1 та Q3. Також результати дисертації додатково відображені у шести тезах конференцій.

##### **Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації:**

*публікації у міжнародних виданнях,  
що входять до міжнародних наукометричних баз:*

1. **O.M. Bahrova, S.I. Kulinich, I.V. Krive**, Polaronic effects induced by non-equilibrium vibrons in a single-molecule transistor, Low Temp. Phys. 46, No. 7, 671, (2020), DOI: [10.1063/10.0001362](https://doi.org/10.1063/10.0001362) (Scopus, квартиль Q3)

2. **O.M. Bahrova**, L.Y. Gorelik, S.I. Kulinich, Entanglement between charge qubit states and coherent states of nanomechanical resonator generated by ac Josephson effect, *Low Temp. Phys.*, 47, No. 4, 287, (2021), DOI: [10.1063/10.0003739](https://doi.org/10.1063/10.0003739) (Scopus, кuartиль Q3)

3. **O.M. Bahrova**, L.Y. Gorelik, S.I. Kulinich, R.I. Shekhter, H.C. Park, Cooling of nanomechanical vibrations by Andreev injection, *Low Temp. Phys.*, 48, No. 6, 476 (2022), DOI: [10.1063/10.0010443](https://doi.org/10.1063/10.0010443) (Scopus, кuartиль Q3)

4. **O.M. Bahrova**, L.Y. Gorelik, S.I. Kulinich, R.I. Shekhter, H.C. Park, Nanomechanics driven by the superconducting proximity effect, *New J. Phys.*, 24, 033008 (2022), DOI: [10.1088/1367-2630/ac5758](https://doi.org/10.1088/1367-2630/ac5758) (Scopus, кuartиль Q1)

### Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. *O.M. Bahrova*, I.V. Krive, How to control transport of spin-polarized electrons via magnetic field in a molecular transistor, *Physics and Scientific & Technological progress: student scientific conference*, Kharkiv, Ukraine, Abstracts, p.3, (2018).

6. *O. M. Bahrova*, S. I. Kulinich, I. V. Krive, Polaronic effects induced by coherent vibrons in a single-molecule transistor, I International Advanced Study Conference Condensed matter & Low Temperature Physics, June 8-14, 2020, Ukraine, Kharkiv, Abstracts, p. 183, (2020).

7. A.D. Shkop, *O.M. Bahrova*, Coulomb and vibration effects in spin-polarized current through a single-molecule transistor, XI Conference of Young Scientists “Problems of Theoretical Physics”, December 21-23, 2020, Ukraine, Kyiv, Abstracts, p.15-16, (2020).

8. *O.M. Bahrova*, L.Y. Gorelik, S.I. Kulinich, Schrödinger-cat states generation via mechanical vibrations entangled with a charge qubit, II International Advanced Study Conference Condensed matter & Low Temperature Physics, June 6–12, 2021, Ukraine, Kharkiv, Abstracts, p.201, (2021).

9. *O.M. Bahrova*, L.Y. Gorelik, S.I. Kulinich, H.C. Park, R.I. Shekhter, Self-sustained mechanical oscillations promoted by superconducting proximity effect, The International Symposium on Novel maTerials and quantum Technologies, December 14–17, 2021, Belfast, UK, Abstracts, p.134, (2021).

10. *O.M. Bahrova*, L.Y. Gorelik, S.I. Kulinich, H.C. Park, R.I. Shekhter, Nanomechanics provoked by Andreev injection, 29th International Conference on Low Temperature Physics, August 18-24, 2022, Sapporo, Japan, Abstracts, p.1554 & 1771, (2022).

Результати дисертаційної роботи повністю відображено у публікаціях. Постановка задач, розглянутих у статтях 1-4 належать науковим керівникам. Усі результати, включені до дисертації, були отримані автором особисто, з



використанням консультацій наукового керівника за необхідністю. Дисертаційна робота не містить елементів плагіату.

## **6. Апробація матеріалів дисертації.**

Отримані у дисертаційній роботі результати обговорювалися та доповідалися на наступних міжнародних конференціях та семінарах:

1. Фізика та науково-технічний прогрес: студентська наукова конференція (Харків, Україна, 10-12 квітня 2018 р.);
2. I Міжнародна наукова конференція з конденсованого стану та фізики низьких температур (Харків, Україна, 8-14 червня 2020 р.);
3. Конференція молодих вчених «Проблеми теоретичної фізики» (Київ, Україна (онлайн), 21-23 грудня 2020 р.);
4. II International Advanced Study Conference Condensed Matter & Low Temperature Physics 2021 (CM&LTP 2021) (II Міжнародна наукова конференція з перспективних досліджень «Фізика конденсованого стану та фізика низьких температур», Харків, Україна, 6-12 червня 2021 р.);
5. Міжнародний симпозіум з нових матеріалів і квантових технологій, (Канагава, Японія (онлайн), 14-17 грудня 2021 р.);
6. Конференція з квантової термодинаміки 2022, (Белфаст, Велика Британія (онлайн), 27 червня - 1 липня 2022 р.);
7. 29-а Міжнародна конференція з фізики низьких температур, (Саппоро, Японія (онлайн), 18-24 серпня 2022 р.).

## **7. Практичне та теоретичне значення дисертації.**

Результати досліджень, які представлені в дисертаційній роботі, мають фундаментальне значення, оскільки поглиблюють і поширюють знання щодо транспорту електронів у наноелектромеханічних системах. Передбачені в роботі ефекти, такі, як самопідтримні наномеханічні коливання та охолодження до основного стану наномеханічних осциляцій, можуть бути виявлені в експериментах. Отримані протоколи маніпулювання тягнучою напругою можуть бути використані в кодуванні квантової інформації між станами кубіту та нанорезонатору в рамках однієї системи. На основі досліджень транспорту електронів в одноелектронному транзисторі, базисним елементом якого є рухома квантова точка, можуть бути створені більш ефективні молекулярні транзистори.

## УХВАЛИЛИ:

1. Розглянувши дисертацію та наукові публікації, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, а також за результатами засідання Наукової Ради з проблеми «Теоретична фізика конденсованого стану» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України, прийнято рішення, що **дисертаційна робота Багрової Ольги Миколаївни «Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої квантової точки», яка подана на здобуття ступеня доктора філософії, є завершеною науковою працею, складає вагомий внесок у розвиток теорії електромеханічних явищ в низькорозмірних системах, за своїм науковим рівнем та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам пп.7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 зі змінами від 21 березня 2022 р. № 341 та відповідає напряму наукового дослідження освітньо-наукової програми «Фізика» ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія». Дисертація містить обґрунтовані висновки на основі одержаних здобувачем достовірних результатів, характеризується єдністю змісту та відповідає принципам академічної доброчесності.**
2. На підставі попередньої експертизи дисертаційної роботи, доповіді здобувача, запитань присутніх і відповідей здобувача, обговорення учасниками засідання основних положень дисертації та виступів наукового керівника і рецензентів, ухвалити **висновок** про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Багрової Ольги Миколаївни «Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої квантової точки» на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія».
3. Враховуючи високий рівень виконаних досліджень, а також наукову новизну результатів, їх теоретичне та практичне значення, **рекомендувати** дисертаційну роботу Багрової Ольги Миколаївни «Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої квантової точки», до **офіційного захисту на здобуття ступеня доктора філософії** зі спеціальності 104 «Фізика та астрономія».



Результати голосування щодо рекомендацій до захисту дисертації Багрової Ольги Миколаївни «Електромеханічні явища в нормальних та надпровідних наноструктурах на основі рухомої квантової точки» на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 10 «Природничі науки» за спеціальністю 104 «Фізика та астрономія» (аспіранти участі у голосуванні не брали):

«За» - 23

«Проти» - 0

«Утримались» - 0

**Головуючий на засіданні**

**Голова Наукової ради з проблеми**

**«Теоретична фізика конденсованого стану»**

**ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України**

**доктор фіз.-мат. наук, професор,**

**провідний науковий співробітник відділу**

**теоретичної фізики**

**ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України**



**Ковальов О.С.**