

**Секція:** Загальна фізика

**Назва проекту:** Взаємодія квазічастинок з поверхнями наноструктур довільної ступені шорсткості

**Назва пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки:**

1) фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави;

б) нові речовини і матеріали

**Назва напрямку секції:** (згідно із паспортом секції обирається до 2-х напрямів):

1. Теоретична фізика

5. Теоретичні та експериментальні дослідження фізичних властивостей конденсованих середовищ

**Організація-виконавець:** Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

Адреса: майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

АВТОРИ ПРОЕКТУ:

**Керівник проекту (П.І.Б.):** Немченко Костянтин Едуардович

**Науковий ступінь:** доктор фізико-математичних наук, **вчене звання:** професор

**Місце основної роботи:** Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна

**Посада:** завідувач кафедри комп'ютерної фізики

**Тел.:** 057-707-50-20, **E-mail:** nemchenko@karazin.ua

**Відповідальний виконавець проекту (П.І.Б., науковий ступінь, вчене звання, посада):**

Єрмаков О.Є., канд. фіз. – мат. наук, асистент кафедри комп'ютерної фізики

**Тел.:** 057-707-50-20, **E-mail:** oe.yermakov@gmail.com

Проект розглянуто й погоджено рішенням наукової (вченої, науково-технічної) ради (назва закладу вищої освіти/наукової установи) від 18 жовтня 2021 р, протокол № 10/21.

Керівник проекту



/ Костянтин НЕМЧЕНКО

« 17 » 10 2021 р.

Проректор з наукової роботи



Віктор СКЛЯРИЧ

« 22 » 10 2021 р.



Секція: Загальна фізика

**ПРОЕКТ**  
**фундаментального дослідження,**  
що виконуватиметься за рахунок видатків загального фонду державного бюджету

Назва проекту: Взаємодія квазічастинок з поверхнями наноструктур довільної ступені шорсткості

Пропоновані терміни виконання проекту (до 36 місяців)  
з 01.01.2021 по 31.12.2023

Орієнтовний обсяг фінансування проекту: 1500 тис. грн.

**1. АНОТАЦІЯ** (до 15 рядків)

Проект присвячено фундаментальним теоретичним та експериментальним дослідженням, а також практичним застосуванням процесів взаємодії фононів, фотонів, та інших типів квазічастинок, зокрема, магнонів з межами наносередовищ. На першому етапі проекту буде розроблена загальна теорія взаємодії хвиль різної природи з поверхнями та границями з довільним ступенем шорсткості. На другому етапі розроблені методи будуть застосовані для конкретних фізичних систем. Зокрема, будуть розглянуті електромагнітні хвилі для опису взаємодії світла зі складними наноструктурами на торці оптоволокна. Застосування загальних результатів для звукових хвиль, які відповідають квантовим тепловим збудженням – фононам, надасть можливість описати перенесення тепла між наноструктурами. Використання розроблених методик для квантовомеханічного опису руху квазічастинок дозволить описати транспортні властивості фонон-магнонних систем в магнітних наноматеріалах. На третьому етапі проекту для кожного з наведених випадків буде запропоновано практичне застосування здобутих результатів для прикладних задач нанотехнологій.

**2. ПРОБЛЕМАТИКА ДОСЛІДЖЕННЯ** (до 15 рядків)

2.1. Проблема, на вирішення якої спрямовано проект (у тому числі, можливо, у сфері національної безпеки та оборони України або подвійного призначення та дослідження, що мають проривний характер).

Проблему, цілі та зміст проекту можна коротко виразити словами «формування ефективного транспорту між наноструктурами». Прогрес у розвитку електроніки в обчислювальних системах та системах накопичення енергії та системах передачі даних постійно стикається з проблемами, які пов'язані зі зменшенням розмірів та збільшенням частоти працюючих пристроїв. Однією з фізичних проблем, що виникають у цьому випадку, є проблема відводу тепла від працюючих пристроїв. Вирішення цієї проблеми вимагає як створення речовин з оптимальними характеристиками для відводу тепла, так і розробки складних структур, де основні втрати тепла відбуваються на межі розділу середовищ.

2.2. Об'єкт дослідження.

Фізичні – теплові, магнітні та оптичні – властивості наноречовин, які обумовлені властивостями їх зовнішніх меж та поверхонь, зокрема, шорсткістю, розмірністю, та геометричними розмірами.

2.3. Предмет дослідження.

Загальна теорія взаємодії хвиль різної природи з поверхнями та границями з довільною ступеню шорсткості. Застосування розроблених методів для розгляду взаємодії електромагнітних хвиль зі складними наноструктурами, для дослідження фононних систем у наноструктурах, для квантовомеханічного опису руху квазічастинок в магнітних наноматеріалах. Практичне застосування методик урахування якості меж наноречовин для прикладних задач нанотехнологій.

### **3. СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОБЛЕМИ І НАПРЯМУ** (до 70 рядків)

3.1. Аналіз результатів, отриманих авторами проекту за напрямом, проблемою, тематикою, об'єктом та предметом дослідження; у чому саме полягає внесок згадуваних вчених і чому їх напрацювання потребують продовження, доповнення, вдосконалення (до 20 рядків).

Авторами проекту протягом останніх двадцяти п'яти років проводилися теоретичні та експериментальні дослідження взаємодії хвиль і квазічастинок з межами між квантовими середовищами та іншими речовинами різної фізичної природи. Незважаючи на великий інтерес до цієї проблеми, досі не існує повної згоди між існуючими теоріями та результатами експериментів, а також відсутнє повне розуміння фізичних процесів, що обумовлюють ці явища. Особливо суперечливими є результати експериментів по проходженню квазічастинок через межу середовищ. Як приклад варто навести температурний стрибок Капіци, який виникає при передачі тепла між двома середовищами. За більш ніж столітню історію досліджень цього процесу дослідникам не вдалося побудувати несуперечливу теорію цього явища.

Авторами було запропоновано новий підхід до вирішення цієї проблеми. Цей похід полягає в урахуванні впливу нелінійних явищ, зокрема взаємодії квазічастинок, на кінетичні властивості речовин. Аналогічний підхід використовувався при дослідженні впливу низки фізичних параметрів на електричний опір надпровідних купратів в широкій області температур. Зокрема, для опису експериментальних даних враховувались флуктуаційна провідність поблизу  $T_c$  та опір напівпровідникового типу при інших температурах, флуктуаційна провідність і взаємодія квазічастинок між собою та з дефектами різної природи.

Нарешті, авторами проекту був запропонований новий напрям, що об'єднує нанофотоніку та волоконну оптику за рахунок наноструктурування торців оптоволокон. Такий підхід вже показав значне покращення функціональності оптоволокон (зокрема, ефективність захвату світла зросла в 10 000 разів) для задач детектування та медицини.

3.2. Аналіз результатів, отриманих іншими вченими (аналогічно наведеному у п.3.1) за останні 5 років із посиланням на конкретні публікації (до 40 рядків).

Зростаючий останнім часом інтерес до наноелектроніки, використання наноматеріалів в пристроях енергозбереження, розвитку компактної комп'ютерної техніки і засобів мобільного зв'язку відновив інтерес до розв'язання задач квантового переносу на мікроскопічному рівні.

Кінетичні властивості систем квазічастинок в наноматеріалах і надпровідних структурах у великій мірі визначаються малою розмірністю і малими розмірами об'єктів. Це обумовлює істотну взаємодію носіїв тепла і зарядів з межами провідників. Особливо суттєвою ця залежність стає при низьких температурах, коли кількість носіїв зменшується, і взаємодія між ними не обмежує їх рух. В цьому випадку на перше місце виходить якість меж, зокрема їх шорсткості. Найбільш загальний огляд сучасного стану досліджень, отриманих результатів і використовуваних моделей в цій області наведено в огляді [1]. Для опису процесів взаємодії квазічастинок з шорсткими межами і поверхнями використовують найбільш загальний хвильовий підхід, який дозволяє описувати проходження хвиль будь-якої природи через межі [2]. Однією з найбільш складних завдань кінетики систем квазічастинок є коректне одночасне урахування взаємодії частинок між собою і з межами зразків. Запропоновані моделі навіть у наш час використовують спрощені підходи, які не відображають повною мірою особливості фізичних процесів, які обумовлюють явища, що відбуваються [3], [4]. Аналогічна ситуація склалася і у випадку досить високих температур, коли часи взаємодії між квазічастинками є найменшими, і реалізується так званий гідродинамічний режим. Для цього випадку нещодавно були проведені дослідження стаціонарних гідродинамічних потоків [5] та нестаціонарних задач поширення тепла [6] у наноструктурах. З'ясувалось, що незважаючи на значний прогрес у кінетичному підході Пайерлса-Больцмана для квазічастинок, існує чимало ситуацій, наприклад, при досить високих температурах, при яких цей опис не застосовний.

Моделювання процесів взаємодії інших систем квазічастинок, зокрема магنونів і фононів, забезпечує вивчення формування ефективної акустичної прозорості інтерфейсу між металевими плівками і діелектричними підкладками з високою теплопровідністю. Результати відповідних

досліджень були представлені в роботі [7], де досліджувався тепловий транспорт в магнетонних системах, в роботі [8], де вивчався вплив магнетон-фононої взаємодії на тепловий потік, який переносять магнетони, та роботі [9], в якій наведено низка результатів з досліджень спітронних систем.

У роботі [10] експериментально продемонстровано покращення ефективності захвату світла в оптоволокну на декілька порядків за рахунок нанесення металевих (плазмонних) наноструктур на торець одномодового оптоволокну, але значення ефективності все ще залишаються занадто малими для практичних застосувань.

3.3. Перелік основних публікацій (не більше 10-ти) закордонних і вітчизняних вчених (окрім публікацій авторів, що наведені у доробку), що містять аналоги та прототиби, є основою для проекту та на які автори посилаються у п.3.2 (до 30 рядків).

Таблиця 1

№	Повні дані про статті
1	R. J. Warzoha, A. A. Wilson, Brian F. D. et al Applications and Impacts of Nanoscale Thermal Transport in Electronics Packaging <i>J. Electron. Packag.</i> Jun 2021, 143(2): 020804 (29 pages) <a href="https://doi.org/10.1115/1.4049293">https://doi.org/10.1115/1.4049293</a>
2	M. Darmon, V. Dorval and F. Baqué Acoustic Scattering Models from Rough Surfaces: A Brief Review and Recent Advances <i>Appl. Sci.</i> 2020, 10(22), 8305; <a href="https://doi.org/10.3390/app10228305">https://doi.org/10.3390/app10228305</a>
3	L. Lindsay, A. Katre, A. Cepellotti, and N. Mingo Perspective on ab initio phonon thermal transport <i>J. Appl. Phys.</i> 126, 050902 (2019); <a href="https://doi.org/10.1063/1.5108651">https://doi.org/10.1063/1.5108651</a>
4	A. J. H. McGaughey, A. Jain, H.-Y. Kim, and Bo Fu Phonon properties and thermal conductivity from first principles, lattice dynamics, and the Boltzmann transport equation <i>J. Appl. Phys.</i> 125, 011101 (2019); <a href="https://doi.org/10.1063/1.5064602">https://doi.org/10.1063/1.5064602</a>
5	Zh. Ding, J. Zhou, B. Song, V. Chiloian Phonon Hydrodynamic Heat Conduction and Knudsen Minimum in Graphite <i>Nano Letters</i> 18(1) (2017) 638. DOI:10.1021/acs.nanolett.7b04932
6	A. Majee and Z. Aksamija Dynamical thermal conductivity of suspended graphene ribbons in the hydrodynamic regime <i>Phys. Rev B</i> 98, 024303 (2018) DOI: 10.1103/PhysRevB.98.024303
7	A. Prakash, B. Flebus, J. Brangham, F. Yang, Y. Tserkovnyak, and J. P. Heremans. Evidence for the role of the magnon energy relaxation length in the spin Seebeck effect // <i>Phys. Rev. B</i> 97, 020408 (2018).
8	D.R. Ratkovski, L. Balicas, A. Bangur, F.L.A. Machado, and S.M. Rezende // Thermal transport in yttrium iron garnet at very high magnetic fields // <i>Phys. Rev. B</i> 101, 174442 (2020).
9	D.A. Bozhko, V.I. Vasyuchka, A.V. Chumak, and A.A. Serga, Magnon–phonon interactions in magnon spintronics (Review Article) <i>LTP/FNT</i> , 2020 v.46 No4 (462-480)
10	N. Wang, M. Zeisberger, U. Hübner, & M.A. Schmidt. Boosting light collection efficiency of optical fibers using metallic nanostructures. <i>ACS Photonics</i> , 6(3), 691-698 (2019). <a href="https://doi.org/10.1021/acsphotonics.8b01560">https://doi.org/10.1021/acsphotonics.8b01560</a>

#### 4. МЕТА, ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ТА ЇХ АКТУАЛЬНІСТЬ (до 70 рядків)

##### 4.1. Ідеї та робочі гіпотези проекту.

Основною ідеєю та робочою гіпотезою проекту є застосування моделі квазічастинок в дослідженнях виконаних у надпровідних речовинах та наноматеріалах. Куперівські пари та фонони в надпровідниках, фонони, ротони та квазічастинки ізотопу  $^3\text{He}$  в надплинних рідинах є прикладами квазічастинок, суміші яких дозволяють описати не тільки термодинамічні властивості цих квантових середовищ, але й кінетичні, електричні, і навіть флуктуаційні характеристики або фазові властивості.

На першому етапі проекту буде вирішена проблема теплопередачі фононами в малогабаритних конструкціях. Автори проекту пропонують нові аналітичні моделі, які можуть

описати перенесення фононів в одновимірних (нанодроти), двовимірних (нанострічки та нанотрубки) та малогабаритних тривимірних речовинах з урахуванням властивостей меж провідників. Ці властивості включають не тільки ступінь шорсткості меж, але і якість теплового контакту на бічних та торцевих межах зразків. Особливістю запропонованих моделей є коректне урахування взаємодії фононів з межами та критичний аналіз стаціонарних нерівноважних станів фононних систем у порівнянні з існуючими моделями.

Вирішення цієї проблеми дасть можливість розробити вимоги до якості бічних меж зразків для досягнення зазначених характеристик теплових потоків у наноструктурах.

Така ж ситуація виникла у питанні передачі тепла через межу між двома тілами. Через різницю у фізичних властивостях суміжних речовин на кордоні завжди виникає тепловий опір так званий опір Капіці. Це явище було відкрито Капіцею майже сто років тому при вивченні потоків тепла між надплинним гелієм і твердим тілом.

Водночас, незважаючи на інтенсивні експериментальні та теоретичні дослідження, остаточної фізичної картини цього явища не існує. Більше того, виявилось, що та ж сама проблема виникає на межі будь-яких тіл, зокрема, між низькорозмірними наноструктурами.

У проекті пропонується альтернатива існуючій моделі нелінійного переходу фононів через межу, а також модель, що описує тепловіддачу на кордоні двох тіл довільного ступеня шорсткості. Розробка цих моделей матиме не тільки межі значення, але й знайде практичне застосування при розробці нових технологій створення систем для ефективного теплообміну.

Особлива увага буде приділена вивченню опору Капіці при високих температурах, аж до кімнатних температур, коли довжина хвилі фонону має порядок міжатомних відстаней, або коли необхідно враховувати внесок теплових збуджень фононного типу. Такий підхід дозволить вивчити теплові властивості речовин у діапазоні температур, при яких фонони не є чітко визначеними квазічастинками.

Ще однією гіпотезою проекту є припущення про можливість збільшення ефективності захвату світла в оптоволокну середовищі за рахунок створення певної міри шорсткості на його торці завдяки відкриттю численних дифракційних каналів. У проекті передбачається використовувати методики фізики конденсованих середовищ при вирішенні завдань вдосконалення оптичних пристроїв.

Викладені ідеї та гіпотези проекту будуть реалізовані за допомогою сучасних методів теоретичної фізики, чим визначається їхня обґрунтованість.

#### 4.2. Мета і завдання проекту.

Основна мета проекту – розгляд процесів перенесення електричного заряду, електромагнітних хвиль та теплових збуджень у надпровідниках, рідинах та газах у випадках, коли ці процеси визначаються конкуренцією декількох фізичних механізмів. Як модельна система буде використано високотемпературні надпровідники (ВТНП), наноструктури низької розмірності та розчини надплинного гелію. Ці системи при довільних температурах, концентрації домішок, тиску й інших параметрів, демонструють велике різноманіття граничних випадків, а також загальні випадки, коли всі процеси релаксації вносять однаковий вклад в перенесення маси, тепла або електричного заряду. Перевагою ВТНП та гелію є також можливість проведення прямих експериментів і можливість знаходження явних аналітичних виразів для параметрів задач. Зокрема, здобуті в теорії розв'язки порівнюються з результатами експериментів, в яких вимірялася кінетика зміни густини квазічастинок різної природи в нанопровідниках та в надплинних розчинах, при ввімкненні та вимиканні зовнішніх полів.

Другою метою проекту є використання отриманих результатів для моделювання проходження світла (пласких електромагнітних хвиль, Гаусових пучків, тощо) через шорсткі наноструктури на торці оптоволокну з метою підвищення ефективності захвату світла, зокрема для віддаленого спектроскопічного аналізу у закритих та живих (in-vivo) системах.

Певні завдання проекту зводяться до побудови загальної теорії проходження і відбиття хвиль від меж наносередовищ, поясненню великої кількості експериментальних даних, планування нових експериментів і розробці пропозицій щодо практичного застосування результатів проекту в прикладних задачах.

4.3. Обґрунтування актуальності та/або доцільності виконання проекту, виходячи із: стану досліджень проблематики за напрямом проекту; ідей та робочих гіпотез проекту.

Головним показником актуальності теми роботи є велика кількість експериментальних даних, які виявилися несподіваними для наукової спільноти і ще не здобули свого повного пояснення.

По-перше, серед таких результатів – результати нових досліджень температурної залежності електропровідності ВТНП, а також залежностей параметрів ВТНП від кількості домішок, температури та зовнішнього тиску.

Друга важлива проблема, що потребує досліджень, це проблема теплопередачі фононами в малогабаритних конструкціях. Автори проекту пропонують нові аналітичні моделі, які можуть описати перенесення фононів в одновимірних (нанопроводи), двовимірних (наноленти та нанотрубки) та малогабаритних тривимірних речовинах з урахуванням властивостей меж провідників. Ці властивості включають не тільки ступінь шорсткості меж, а й якість теплового контакту на бічних та торцевих межах зразків. Особливістю запропонованих моделей є коректне урахування взаємодії фононів з межами та критичний аналіз стаціонарних нерівноважних станів фононних систем у порівнянні з існуючими моделями.

По-третє, глобальний виклик науці, який формують сучасні технології, це забезпечення інформаційних потоків. У проекті пропонується революційний підхід до збільшення захоплення світла оптоволоконними пристроями, що значно підвищує ефективність передачі та збору даних.

Таким чином, дослідження в рамках цього проекту дозволять розв'язати певні задачі для надплинних та надпровідних конденсованих речовин у мікроскопічному масштабі.

## **5. ПІДХІД, МЕТОДИ, ЗАСОБИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА ПРОЕКТОМ**

*(до 50 рядків)*

5.1. Визначення підходу щодо проведення досліджень, обґрунтування його новизни. Нові або оновлені підходи, методи та засоби досліджень, що створюватимуться авторами у ході виконання проекту.

Майже всі завдання проекту стосуються фізики конденсованої речовини та теоретичної фізики низьких температур. Тому основні методи дослідження стосуються цієї галузі фізики. Перш за все, це квазічастинковий підхід. У цьому підході властивості сильно взаємодіючої системи атомів (рідкої та твердої) розглядаються як властивості системи слабонеідеального газу квазічастинок - фононів. Наприклад, теплові потоки в наноструктурах розглядаються як потоки щільності фононів. У цьому випадку фонони можуть взаємодіяти між собою та з іншими квазічастинками, розсіюватися на різних перешкодах, наприклад, дефектах домішок і, зрештою, з межами вибірки. На першому етапі цієї роботи досліджується модель одночасного абсолютно пружного ізотропного та дзеркального розсіювання фонону від межі з довільною ступеню шорсткості, і основне завдання роботи – вивчити метод встановлення квазілокального розподілу температури всередині зразка. Побудована модель дозволить розглянути ряд особливостей теплообміну фононів у двовимірних структурах, які не мають однозначного опису.

Отже, основним підходом, що використовується у проекті, є використання кінетичного рівняння Больцмана, в якому слід враховувати можливі типи взаємодії між квазічастинками та врахувати умови на межах середовищ. Одним із граничних випадків цієї моделі є балістичний режим, при якому передбачається, що квазічастинки не взаємодіють між собою – так звана модель Казимира – Займана.

Протилежним граничним випадком цієї моделі є гідродинамічний випадок, в якому передбачається, що часи взаємодії квазічастинок між собою є найменшими. У цьому випадку нещодавно були проведені експериментальні дослідження стаціонарних гідродинамічних потоків або нестаціонарних проблем поширення тепла у наноструктурах. У проекті будуть розглянуті як ці граничні випадки, так і проміжний випадок, коли середній вільний пробіг квазічастинок збігається з розмірами зразків. Цей загальний результат буде здобуто в новому

підході, що створюватиметься авторами у ході виконання проекту, і який полягає у використанні моделі коректного наближення часів релаксації в інтегралі зіткнень, та врахуванні шорсткості меж довільної форми.

При вирішенні проблеми проходження хвиль через межу між наносередовищами будуть використовуватися дві різні моделі. Перша з них визначає вплив шорсткості поверхні на відбиття та передачу хвиль на межі. Це взагалі одна з найдавніших історичних методологій опису відбиття випромінювання від кордонів. Вона відноситься до часів створення оптики та електродинаміки, і однією з перших моделей вирішення цієї проблеми була модель Кірхгофа. В даний час існує близько десятка інших моделей, які використовуються для опису взаємодії хвиль (будь-якої природи) з шорсткими поверхнями.

Модель квазічастинок дозволяє звести проблему теплопередачі через межу конденсованого середовища до подібної задачі – перенесення фононів (або будь-яких теплових збуджень) через межу. У цьому випадку теплові збудження моделюються плоскими хвилями або хвильовими пакетами. Останній випадок необхідний, якщо відношення енергія-імпульс квазічастинки не є лінійним, як у випадку, наприклад електронів в ВТНП.

Окремим пунктом проекту є розробка та використання нових методів для випадку відносно високих температур, коли коливання решітки доводиться описувати не лише за допомогою чітко визначених фононів, але й враховувати внески інших фононоподібних збуджень (наприклад, дифузони). Наразі, наскільки нам відомо, відсутній теоретичний опис теплопередачі за межі твердих тіл за допомогою таких теплових збуджень. У проекті ми плануємо вивчити роль нефононного збудження у формуванні теплового потоку між різними середовищами.

Як альтернативну модель стрибка Капіці ми будемо вивчати так звані нелінійні процеси взаємодії фононів з межами. У цій моделі поверхня тіл вважається абсолютно плоскою, тому внеском шорсткості можна нехтувати. Отже, для опису процесів теплопередачі між різними тілами ми використовуємо теорію пружної та непружної взаємодії фононів на межі цих середовищ. У цій моделі ми будемо використовувати квантово-механічний підхід теорії збурень для розрахунку внеску фононів у формування теплового потоку, його величину та кутовий розподіл.

Для опису взаємодії полів, розсіяних наноструктурою на торці оптоволокна та хвилеводними модами оптоволокна, будуть використовуватися метод розкладання по Фур'є модам (Fourier Modal Method), метод розкладання по хвилеводним модам (Guided Mode Expansion Method) та метод пов'язаних станів (Coupled Mode Theory). Чисельне моделювання спектра власних мод і просторового розподілу електромагнітних полів фотонних структур буде проводитися методом кінцевих елементів (FEM) та методами кінцевих різниць у часовій (FDTD) і частотній областях (FDFD). Для моделювання буде використовуватися програмний пакет з відкритим вихідним кодом для обчислення зонних структур і електромагнітних режимів періодичних діелектричних структур MIT Photonics Band (<https://mpb.readthedocs.io/>).

## 5.2. Особливості структури та складових проведення досліджень.

Особливістю структури проекту буде поєднання досліджень хвильових процесів на межах середовищ з дослідженнями взаємодії квазічастинок всередині наноречовини. Це дасть змогу не тільки дати опис цього явища, а й пояснити особливості цілої низки експериментів, результати яких свідчать про наявність певних колективних мод, або про присутність певних квазічастинок, та їх взаємодії, тобто дати теоретичну верифікацію експериментальним даним. Застосування суміші квазічастинок різного типу як модельної системи дасть змогу досліджувати процеси у довільних співвідношеннях між основними гідродинамічними параметрами речовин, зокрема для випадків, що мають місце у теплоносіях під час процесів перенесення та трансформації енергії. Будуть знайдені області значення параметрів теплоносіїв, коли ефект, що розглядається, дає максимальний внесок, а також будуть розв'язані задачі у випадках різної геометрії.

5.3. Обґрунтування наявності матеріально-технічної бази, яка буде використана для виконання проекту (Центри колективного користування науковим обладнанням (ЦККНО), державні ключові лабораторії, наукові об'єкти, що становлять національне надбання, науково-дослідні поля ЗВО, НУ тощо).

В проекті буде використана матеріально-технічна база Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна, фізичні та комп'ютерні лабораторії фізичного факультету та навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики. Зокрема, будуть використані потужності гелієвої зріджувальної установки фізичного факультету та растровий електронний мікроскоп JEOL JSM-840 виробництва фірми JEOL центру колективного користування науковим обладнанням Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. Також буде використаний «Центр колективного користування науковим обладнанням «Лабораторія мікро- і нано-систем, новітніх матеріалів та технологій» Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна, що створено згідно Наказу Проректора з науково-педагогічної роботи Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна від 29 грудня 2018 р. № 0304-1/668.

5.4. Наявність державної атестації наукової діяльності ЗВО або НУ за напрямом проекту, що підтверджується відповідним наказом МОН (зазначити назву напряму за яким атестовано ЗВО, рік атестації, та категорію отриману за результатами атестації).

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна атестовано за напрямом проекту «Математичні науки та природничі науки» у 2021 році згідно наказу Міністерства науки і науки України № 372 від 25.03 2021 року.

## **6. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ, ЇХ НАУКОВА НОВИЗНА**

6.1. Докладно представити очікувані результати – гіпотези, теорії, нові методи пізнання, відкриття законів природи, невідомих раніше явищ і властивостей матерії, виявлення закономірностей розвитку суспільства тощо, які не орієнтовані на безпосереднє практичне використання у сфері економіки.

Результати проекту насамперед дадуть змогу:

пояснити існуючі експериментальні дані для ВТНП – сполук, квантових рідин й наноструктур низької розмірності, та запропонувати нові експерименти;

розв'язати фундаментальні проблеми взаємодії колективних мод у надсередовищах в моделі квазічастинок;

розробити методики аналітичного розв'язку та відповідні математичні алгоритми, що дозволять застосовувати здобуті результати для інших речовин;

знайти області значення параметрів речовин, коли розглядувані ефекти дають максимальний вклад.

Розв'язок цих задач дасть змогу створити обчислювальні алгоритми та програмні засоби для чисельного моделювання явищ, що досліджуються, а також дати рекомендації щодо практичного використання здобутих результатів.

Зокрема, здобуті результати будуть узагальнені для розробки методів збільшення проникнення електромагнітних хвиль до оптоволоконних пристроїв завдяки спеціальним чином сформованим нанорозмірним структурам. Буде проведено моделювання цих структур і надані рекомендації для їх практичного застосування. Проведення експерименту планується на базі Інституту фотонних технологій імені Лейбніца у колаборації з групою проф. Markus Schmidt.

6.2. Довести наукову новизну наведених положень на основі їх змістовного порівняння із існуючими аналогами у світовій науці на основі посилань на конкретні публікації (наведені у Таблиці 1), довести переваги результатів, які будуть отримані, над існуючими.

Дослідження взаємодії хвиль будь-якої природи з поверхнями розділу середовищ залишалося нагальною проблемою для фізиків протягом століття. У різних застосуваннях використовувалися різні наближення, зумовлені особливостями конкретної задачі. З цієї



причини загальна теорія відображення хвиль від поверхні або краю з довільної шорсткістю була відсутня.

Основною відмінністю запропонованого у проекті підходу від методів, що використовувалися в [1], є вирішення повної системи кінетичних рівнянь з граничними умовами, які враховують шорсткості довільної висоти і інших кореляційних параметрів. Такий підхід дозволяє розглянути взаємодію з межами хвиль для випадку довільних співвідношень між довжинами хвиль квазічастинок і розмірами шорсткостей, що узагальнює результати роботи [2] на випадки фононних систем для довільних температур від мілікельвінів до кімнатних температур. Для урахування різних типів квазічастинок доводиться розв'язувати системи кінетичних рівнянь. Для цього в проекті використовується оригінальний матричний метод, який дозволяє коректно врахувати закони збереження і всі типи взаємодії квазічастинок, і, тим самим, має істотні переваги перед використовуваними наближеними методиками [3], [4].

У гідродинамічному випадку в системі квазічастинок в проекті також пропонується нова методика. Вона має істотні переваги перед моделями, які використовуються в роботах по вивченню стаціонарних гідродинамічних потоків [5] і нестаціонарних потоків тепла [6], тому що може бути застосована для довільних співвідношень між довжиною вільного пробігу квазічастинок і розмірами зразків.

Розроблена у проекті методика дозволить розв'язати конкретні кінетичні задачі та узагальнити та відкоригувати результати робіт, де не був врахований мікроскопічний аналіз для вивчення впливу магнон-фононної взаємодії на тепловий потік, який переносять магнони [7], не враховані всі типи взаємодій між квазічастинками [8], або не коректно наведений вплив меж на ці потоки [9].

У роботі [10] вдалося досягти підвищення ефективності захвату світла в оптоволокну до 0.001-0.01% за рахунок нанесення плазмонної наноструктури. В рамках проекту планується використовувати діелектричні наноструктури зі зневажливо малими втратами на поглинання (кремній, нітрид кремнію, оксид цинку в видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні) та досягти ефективності захвату світла порядку 1-10%, тобто покращити функціональність щонайменш у 1000 разів порівнянно з існуючими аналогами.

6.3. Довести, що задля одержання наведених наукових результатів варто витратити відповідні кошти державного бюджету, тобто, соціальний або інший ефект від використання результатів проекту перевищить витрати.

Розвиток сучасних технологій в області наноелектроніки і оптоелектроніки із застосуванням матеріалів зі складною структурою, таких як ВТНП або композитні матеріали є однією з пріоритетних і, одночасно, конкурентних напрямків у сучасному світі. Конкуренція в цій галузі прикладної фізики обумовлена також і тим, що результати цих досліджень вкрай затребувані і знаходять застосування в практичних додатках відразу після публікації. Це обумовлює високий економічний ефект від впровадження результатів розробок у цій галузі.

Використання оптоволокон в ендоскопії для діагностики патологічних утворень і захворювань стало популярним практично відразу після появи першого оптоволоконна. Оптоволоконні технології також відіграють велику роль і в хірургічній лапароскопії, зводячи до мінімуму ризику крововтрат, виникнення ускладнень і відновний період завдяки малоінвазивному втручання (міліметрові розрізи). Ринок ендоскопічних і лапароскопічних пристроїв постійно розширюється і оновлюється. Так, у США і більшості країн Європи проводиться політика відшкодування витрат медичним закладам при проведенні мінімально інвазивних операцій. Нарешті, волоконно-оптичні датчики активно використовуються не тільки в газовій, нафтовій, енергетичній галузях, але і є необхідними елементами бортових систем моніторингу авіаційних і космічних апаратів.

Більш того, досягнення в такій передовій галузі науки має значний соціальний ефект, демонструючи високий рівень вітчизняної науки у світовому масштабі, а також важливість і необхідність науки для подальшого прогресу країни. Таким чином, практична вигода від впровадження результатів проекту та позитивний соціальний ефект значно перевищать витрати на проведення цього проекту.

## 7. ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДЛЯ ЕКОНОМІКИ ТА СУСПІЛЬСТВА

7.1. Обґрунтувати цінність очікуваних результатів для потреб розвитку країни та загальнолюдської спільноти, а також для світової та вітчизняної науки.

Дослідження цього проекту, як і будь-якого іншого фундаментального проекту, є цінними, тому що вони сприяють розвитку науки, як галузі знань. Вони не тільки пояснюють нові явища, але насамперед, підтверджують здатність людини та суспільства пізнавати всесвіт та його закони.

Що стосується нашої країни, то вирішення задач, які протягом десятиліть не були розв'язані навіть після великої кількості невдалих спроб, продемонструє реально високе місце, яке займає наука у світі вітчизняна наука.

Очікувані результати будуть цінними для світової та вітчизняної науки тому що вони, по-перше, прояснять процеси, які мають місце в незвичайних речовинах, надплинних та надпровідних суцільних середовищах, на межах цих середовищ з наноструктурами, а по-друге, будуть сприяти подальшому розвитку цих галузей знань, та своєю незвичайністю будуть приваблювати учнів та молодих студентів до заняття наукою.

7.2. Довести цінність результатів для підготовки фахівців у системі освіти, зокрема наукових кадрів вищої кваліфікації, навести тематику кваліфікаційних робіт бакалаврів, магістрантів, аспірантів і докторантів, що будуть брати участь у виконанні проекту.

Виконання проекту дасть змогу вдосконалити підготовку бакалаврів, магістрів, аспірантів. Вони будуть використані у спеціальних курсах, що викладаються в науково-навчальному інститут комп'ютерної фізики та енергетики, а також на фізичному факультеті ХНУ імені В.Н. Каразіна. Бакалаври та магістранти кафедри будуть використовувати здобуті у проекті результати для виконання дипломних робіт. Матеріали робіт, що будуть виконані аспірантами Караєвим А.О., Протектором Д.О, та Мироненко І.В., будуть використані в їх кандидатських дисертаціях. Автори цих кваліфікаційних робіт будуть брати участь у виконанні проекту з оплатою праці. При цьому, використання очікуваних результатів за проектом буде відокремлене від науково-методичних завдань, що виконуються викладачами у межах їх основної педагогічної діяльності. Зокрема, авторами в рамках проекту будуть готуватися матеріали для суттєво наукових оглядів для публікації у наукових журналах та розділів монографій.

## 8. ФІНАНСОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИТРАТ ДЛЯ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

8.1. Обсяг витрат на заробітну плату (розрахунок за кількістю працівників, залучених до виконання (загальний). Загальний обсяг витрат на заробітну плату: **860655** грн.

Посада	Доля ставки	Міс.з/п (оклад, надб., допл., інші виплати)	Разом 2022-2024 рр.	У тому числі за роками									
				2022			2023			2024			
				Доля ставки	Міс.з/п (оклад, надб., допл., інші виплати)	Разом за рік	Доля ставки	Міс.з/п (оклад, надб., допл., інші виплати)	Разом за рік.	Доля ставки	Міс.з/п (оклад, надб., інші виплати)	Разом за рік	
<b>Штатні працівники</b>													
СНС	0,7	7464	268074	0,7	7464	89568	0,7	7464	89568	0,7	7464	89568	
Інж.1.к.	0,3	4250	48051	0,3	2168,08	26017	0,3	2168,08	26017	0,3	2168,08	26017	
Разом:	1,0		346755	1,0	9632,08	115585	1,0	9632,08	115585	1,0	9632,08	115585	
<b>Внутрішні сумісники</b>													
ПНС	0,75	10774,5	387882	0,75	10774,5	129294	0,75	10774,5	129294	0,75	10774,5	129294	
НС	0,5	3500,5	126018	0,5	3500,5	42006	0,5	3500,5	42006	0,5	3500,5	42006	
Разом:	1,25		513900	1,25	14275	171300	1,25	14275	171300	1,25	14275	171300	
<b>Всього:</b>	<b>2, 25</b>		<b>860655</b>	<b>2,25</b>	<b>23907,08</b>	<b>286885</b>	<b>2,25</b>	<b>23907,08</b>	<b>286885</b>	<b>2,25</b>	<b>23907,08</b>	<b>286885</b>	

Відрахування на соціальні заходи (22% від фонду заробітної плати) **189345** грн.

## 8.2. Обсяг витрат на матеріали орієнтовний розрахунок (загальний).

Загальний обсяг витрат на матеріали: **96000** грн.

№ п/п	Назва предметів, матеріалів, обладнання та інвентарю	Одиниця вимірювання	Ціна за одиницю	Разом 2022-2024 рр		У тому числі за роками:					
						2022		2023		2024	
				Кількість	Вартість, тис. грн.	Кількість	Вартість, тис. грн.	Кількість	Вартість, тис. грн.	Кількість	Вартість, тис. грн.
1.	МФУ	шт.	6	2	12	1	6			1	6
2.	Сейф для паперів	шт.	3	1	3			1	3		
3.	Системний блок	шт.	22	3	66	1	22	1	22	1	22
4.	Монітор	шт.	3	3	9	1	3	1	3	1	3
5.	Книжковий шкаф	шт.	3	1	3			1	3		
6	Папір для принтера	пачка	0,2	15	3	5	1	5	1	5	1
	<b>Всього</b>				<b>96</b>	<b>8</b>	<b>32</b>	<b>8</b>	<b>32</b>	<b>5</b>	<b>32</b>

## 3. Обсяг витрат на енергоносії, інші комунальні послуги (за видами, на підставі порівняльного розрахунку попередніх періодів, загальний).

Загальний обсяг витрат на енергоносії, інші комунальні послуги: **30123** грн.

№ п/п	Вид комунальних послуг та енергоносіїв	Разом 2022-2024 рр		У тому числі за роками:					
				2022		2023		2024	
		Натур. показн.	Вартість, тис. грн.	Натур. показн.	Вартість, тис. грн.	Натур. показн.	Вартість, тис. грн.	Натур. показн.	Вартість, тис. грн.
1.	Теплопостачання, Гкал	11,88	21,087	3,96	7,029	3,96	7,029	3,96	7,029
2.	Водопостачання, м³	111,57	1,506	37,19	0,502	37,19	0,502	37,19	0,502
3.	Електроенергія, кВтчас	2151,64	7,530	717,21	2,510	717,21	2,510	717,21	2,510
	<b>Всього</b>		<b>30,123</b>		<b>10,041</b>		<b>10,041</b>		<b>10,041</b>

## 8.4. Інші витрати (за видами, із обґрунтуванням їх необхідності, загальні).

Накладні витрати ( 15 % від фонду заробітної плати) **129099** грн.Інші послуги **165000** грн.

№ з/п	Назва витрат, обґрунтування необхідності	Разом 2022-2024 рр	У тому числі за роками:		
			2022	2023	2024
			вартість, тис. грн	вартість, тис. грн	вартість, тис. грн
1.	Оформлення та подання патентів в Україні	15	5	5	5
2.	Оформлення та подання патентів за кордоном	30	10	10	10
3.	Друкування статей за кордоном	30	10	10	10
4	Друкування монографій за кордоном	45	15	15	15
5	Організаційні внески для участі в конференціях	45	15	15	15
	<b>Всього</b>	<b>165</b>	<b>55</b>	<b>55</b>	<b>55</b>

Витрати на службові відрядження **29778 грн.**

	Місто, організація, підприємство	Мета відрядження	Кількість відряджень	Вартість, тис. грн
2022 р.	Київ, Інститут електронної фізики НАНУ	Участь в науковій конференції CONFERENCE OF YOUNG SCIENTISTS AND POST-GRADUATE STUDENTS IEP-2022	1	7,926
	Харків	Участь в науковій конференції Functional materials for technical and biomedical applications 2022	1	2,000
Разом:				<b>9,926</b>
2023 р.	Львів The House of Scientists	Участь в науковій конференції Nano-2023:		9,926
Разом:				<b>9,926</b>
2024 р.	Київ, КНУ	Участь в науковій конференції PLLMP 2024		9,926
Разом:				<b>9,926</b>
<b>Всього:</b>				<b>29,778</b>

#### 8.5. Зведений кошторис проекту (загальний).

Статті витрат	Обсяг, тис. грн.	У тому числі за роками		
		2022 тис. грн.	2023 тис. грн.	2024 тис. грн.
1. Витрати на оплату праці	860,655	286,885	286,885	286,885
2. Відрахування на соціальні заходи	189,345	63,115	63,115	63,115
3. Витрати на предмети, матеріали, обладнання та інвентар	96	32	32	32
4. Інші послуги	165	55	55	55
5. Витрати на службові відрядження	29,778	9,926	9,926	9,926
6. Комунальні послуги	30,123	10,041	10,041	10,041
7. Накладні витрати	129,099	43,033	43,033	43,033
<b>8. Всього витрат</b>	<b>1500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>	<b>500</b>

8.6. Капітальні видатки – на виконання проекту обсяг витрат на придбання обладнання і предметів довгострокового користування. Перелік обладнання, необхідного для виконання наукової роботи. (із зазначенням цін та виробників). Обґрунтування. **Видатки відсутні**

#### 9. НАУКОМЕТРИЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОРІВ ПРОЕКТУ

9.1. Зазначити сумарний h-індекс керівника та 4 авторів проекту згідно БД Scopus або WoS та веб-адреси їх відповідних авторських профілів і Authors ID. (Google Scholar для соціо-гуманітарних наук).

Сумарний h-індекс керівника та 4 авторів проекту: **69**.

1. Немченко К.Е. **h = 12**, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004032935>

<https://orcid.org/0000-0002-0734-942X>

2. Вовк Р.В. **h = 42**, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602898343>

<https://orcid.org/0000-0002-9008-6252>

3. Єрмаков О.Є. **h = 7**, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56709555600>

<https://orcid.org/0000-0001-9446-0670>

4. Овчаренко А.І. **h = 3**, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56709381300>

<https://orcid.org/0000-0002-7734-4923>

5. Немченко Є.К. **h = 5**, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55365009000>

<https://orcid.org/0000-0003-3456-8967>

9.2. Зазначити сумарну кількість цитувань керівника та 4 авторів проекту згідно БД Scopus або WoS.(Google Scholar для соціо-гуманітарних наук).

Сумарна кількість цитувань керівника та 4 авторів проекту згідно БД Scopus:  
**581 + 3450 + 235 + 158 + 68 = 4492** (станом на 17 жовтня 2021)

## 10. НАУКОВИЙ ДОРОБОК ТА ДОСВІД АВТОРІВ ЗА НАПРЯМОМ ПРОЕКТУ

(за попередні 5 років (включно з роком подання запиту))

Квартилі  $Q$  визначаються за класифікацією *Journal Citation Reports* або *Scimago*; якщо журнал має кілька предметних областей (категорій) з однаковими або різними значеннями квартилей по кожній області (категорії) або в різних БД Scopus, WoS, то зазначається найвище значення квартилю.

10.1. Перелік статей у журналах, що індексуються в наукометричних базах даних WoS та/або Scopus (обов'язково зазначити квартиль  $Q$  на момент опублікування). Для соціо-гуманітарних наук допускаються відомості про статті в журналах категорії А, а також наукові статті у виданнях, які містять інформацію, що становить державну таємницю для проектів оборонного і подвійного призначення.

Таблиця 2

№	Повні відомості про статті з веб-адресою електронної версії; <u>обрати прізвища авторів</u> , які належать до списку авторів, квартиль $Q$	Наукометрична база даних (Імпакт-фактор згідно SJR)	Квартиль $Q$ (згідно SJR)
1	<u>O. Yermakov</u> , V. Lenets, A. Sayanskiy, J. Baena, E. Martini, S. Glybovski, and S. Maci. <i>Surface waves on self-complementary metasurfaces: all-frequency hyperbolicity, extreme canalization and TE-TM polarization degeneracy</i> , <b>Physical Review X</b> , 11(3), 031038 (2021). DOI: <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevX.11.031038">https://doi.org/10.1103/PhysRevX.11.031038</a>	SCOPUS (25.5)	Q1
2	<u>O. Yermakov</u> , H. Schneidewind, U. Hubner, T. Wieduwilt, M. Zeisberger, A. Bogdanov, Yu. S. Kivshar and M. A. Schmidt. <i>Nanostructure-empowered efficient coupling of light into optical fibers at extraordinarily large angles</i> , <b>ACS Photonics</b> , 7(10), 2834-2841 (2020). DOI: <a href="https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.0c01078">https://doi.org/10.1021/acsp Photonics.0c01078</a>	SCOPUS (8.3)	Q1
3	<u>A. I. Ovcharenko</u> , C. Blanchard, J. P. Hugonin, and C. Sauvan. <i>Bound states in the continuum in symmetric and asymmetric photonic crystal slabs</i> . <b>Physical Review B</b> , 101(15), 155303 (2020). DOI: <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.155303">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.101.155303</a>	SCOPUS (5.8)	Q1
4	<u>O. Y. Yermakov</u> , A. A. Bogdanov, and A. V. Lavrinenko. <i>Broadband polarization degeneracy of guided waves in subwavelength structured ZnO pattern</i> , <b>IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics</b> 25(3), 1 (2019). DOI: <a href="https://doi.org/10.1109/JSTQE.2018.2886306">https://doi.org/10.1109/JSTQE.2018.2886306</a>	SCOPUS (4.5)	Q1
5	<u>O. Y. Yermakov</u> , A. A. Hurshkainen, D. A. Dobrykh, P. V. Kapitanova, I. V. Iorsh, S. B. Glybovski, and A. A. Bogdanov. <i>Experimental observation of hybrid TE-TM polarized surface waves supported by a hyperbolic metasurface</i> , <b>Physical Review B</b> 98(19), 195404 (2018). DOI: <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.195404">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.98.195404</a>	SCOPUS (5.8)	Q1
6	<u>O. Y. Yermakov</u> , D. V. Permyakov, F. V. Porubaeu, P. A. Dmitriev, A. K. Samusev, I. V. Iorsh, R. Malureanu, A. V. Lavrinenko, and A. A. Bogdanov. <i>Effective surface conductivity of optical hyperbolic metasurfaces: from far-field characterization to surface wave analysis</i> , <b>Scientific Reports</b> 8(1), 14135 (2018). DOI: <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-018-32479-y">https://doi.org/10.1038/s41598-018-32479-y</a>	SCOPUS (4.3)	Q1
7	A. Samusev, I. Mukhin, R. Malureanu, O. Takayama, D. V. Permyakov, I. S. Sinev, D. Baranov, <u>O. Yermakov</u> , I. V. Iorsh, A. A. Bogdanov, and A. V. Lavrinenko. <i>Polarization-resolved characterization of plasmon waves supported by an</i>	SCOPUS (4.2)	Q1

	<i>anisotropic metasurface</i> , <b>Optics Express</b> 25(26), 32631 (2017). <b>DOI: <a href="https://doi.org/10.1364/OE.25.032631">https://doi.org/10.1364/OE.25.032631</a></b>		
8	Vikhtinskaya, T.G., Nemchenko, K.E., Rogova, S.Yu. Excitation of concentration and temperature fluctuations by vibrating bodies in superfluid $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ solution <i>Low Temperature Physics</i> , 2018, 44(10), 1066–1069 <a href="https://doi.org/10.1063/1.5055849">https://doi.org/10.1063/1.5055849</a>	SCOPUS	Q3
9	Nemchenko, K., Rogova, S. & Vikhtinskaya, T. Heat Transfer in $^3\text{He}$ - $^4\text{He}$ Mixtures in Cylindrical Geometry. <i>J Low Temp Phys</i> 187, 324–330(2017). <a href="https://doi.org/10.1007/s10909-017-1761-7">https://doi.org/10.1007/s10909-017-1761-7</a>	SCOPUS	Q2
10	V Shklovskij, V. Kruglyak, R.V. Vovk, A.V.Dobrovolskii <b>Role of magnons and the size effect in heat transport through an insulating ferromagnet/insulator interface</b> // <i>Phys Rev B</i> 98, 224403 (2018).		Q1
11	A. Bezyglyj, V Shklovskij, V. Kruglyak, R.V. Vovk. Spin Seebeck effect and phonon energy transfer in heterostructures containing layers of a normal metal and a ferromagnetic insulator // <i>Phys Rev B</i> 99, 134428 (2019). <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.134428">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.99.134428</a>	SCOPUS	Q1
12	A.I. Bezuglyj, V.A. Shklovskij, V.V. Kruglyak, R.V. Vovk. Temperature dependence of the magnon-phonon energy relaxation time in a ferromagnetic insulator. <i>Phys. Rev. B</i> 100, 214409 (2019). <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.214409">https://doi.org/10.1103/PhysRevB.100.214409</a>	SCOPUS	Q1
13	Oxygen migration in doped BaGdInO <sub>4</sub> Kuganathan, N., Davazoglou, K., Vovk, R.V., Chroneos, A. <i>Solid State Ionics</i> , 2021, 369, 115729	SCOPUS	Q1
14	Structure-induced features of transport processes in an electroconsolidated FeNi composite Khadzhai, G.Y., Vovk, S.R., Vovk, R.V., ...Feher, A., Dobrovolskiy, O.V. <i>Modern Physics Letters B</i> , 2021, 35(24), 2150425 <a href="https://doi.org/10.1142/S021798492150425X">https://doi.org/10.1142/S021798492150425X</a>	SCOPUS	Q3
15	Defects, diffusion and dopants in Li <sub>8</sub> SnO <sub>6</sub> Kuganathan, N., Solovjov, A.L., Vovk, R.V., Chroneos, A. <i>Heliyon</i> , 2021, 7(7), e07460 doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07460	SCOPUS	Q1
16	Effect of hydrogen on the electrical resistance of NbSe <sub>2</sub> in a wide temperature range Chroneos, A., Khadzhai, G.Y., Biletskyi, V.I., Kislitsa, M.V., Vovk, R.V. <i>Journal of Materials Science: Materials in Electronics</i> 2021, 32(10), crp. 13588–13593 <a href="https://doi.org/10.1007/s10854-021-05934-2">https://doi.org/10.1007/s10854-021-05934-2</a>	SCOPUS	Q2
17	Influence of high pressure on the temperature dependence of electrical resistivity of Y <sub>1-x</sub> Pr <sub>x</sub> Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-<math>\delta</math></sub> single crystals Khadzhaj, G.Y., Matsepulin, A.V., Chroneos, A., Goulatis, L., Vovk, R.V. <i>Solid State Communications</i> , 2021, 327, 114205 <a href="https://doi.org/10.1016/j.ssc.2021.114205">https://doi.org/10.1016/j.ssc.2021.114205</a>	SCOPUS	Q2
18	Sintered nanocomposites ZrO <sub>2</sub> -WC obtained with field assisted hot pressing Gevorkyan, E., Prikhna, T., Vovk, R., ...Chishkala, V., Chalko, L. <i>Composite Structures</i> , 2021, 259, 113443 DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.113443	SCOPUS	Q1
19	O.V. Dobrovolskiy, R. Sachser, T. Brächer, T. Fischer, V.V. Kruglyak, R.V. Vovk, V.A. Shklovskij, M. Huth, B. Hillebrands, and A.V. Chumak./ Magnon-Fluxon interaction in a ferromagnet/superconductor heterostructure./ <i>Nature Physics</i> 15, 477-482 (2019). <a href="https://doi.org/10.1038/s41567-019-0428-5">https://doi.org/10.1038/s41567-019-0428-5</a>	SCOPUS	Q1
20	E. N. Sgourou, Y. Panayiotatos, K. Davazoglou, A. L. Solovjov, R. V. Vovk, and A. Chroneos / Self-diffusion in perovskite and perovskite related oxides: insights from modeling // <i>Applied Sciences</i> 2020, 10 (7), 2286; <a href="https://doi.org/10.3390/app10072286">https://doi.org/10.3390/app10072286</a>	SCOPUS	Q2
21	A. Grib, R. Vovk, S. Savich, V. Shaternik / IV-characteristics and power of emission from stacks of long Josephson junctions with Gaussian spread of critical currents // <i>Applied Nanoscience</i> 10, pp. 2849–2854 (2020) <a href="https://doi.org/10.1007/s13204-020-01279-0">https://doi.org/10.1007/s13204-020-01279-0</a>	SCOPUS	Q2
22	Yu.V. Bessmolniy, G.Ya. Khadzhaj, V.I. Beletskii, D.V. Rokhmistrov, R.V. Vovk, I.L. Goulatis, A. Chroneos / Electro and heat transfer in Cd <sub>0.22</sub> Hg <sub>0.78</sub> Te single crystals in the temperature range of their practical applications // <i>Journal of Low Temperature Physics</i> (2018), Volume 190, Issue 1–2, pp 39–44 DOI 10.1007/s10909-017-1810-2.	SCOPUS	Q2
23	R.V. Vovk, G.Ya. Khadzhai, O.V. Dobrovolskiy, S.N. Kamchatna, V.M. Pinto Simoes // Conductivity relaxation in strongly underdoped YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-<math>\delta</math></sub> single crystals / <i>Physica B. Condensed Matter</i> , 518 (2017) p.p. 47-50 <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2017.05.020">http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2017.05.020</a>	SCOPUS	Q2

24	<a href="#">R.V. Vovk, Y.I. Boiko, V.V. Bogdanov, S.N. Kamchatnaya, I.L. Goulatis, A. Chroneos</a> / Different diffusion mechanisms of oxygen in $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ (Re = Y, Ho) single crystals // <i>Physica C</i> 536 (2017) 26-29.	SCOPUS	Q3
25	<a href="#">R.V. Vovk, G.Y. Khadzhai, Z.F. Nazyrov, S.N. Kamchatnaya</a> / Effect of hydrostatic pressure on the conductivity of $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals in a broad range of temperature and oxygen content // <i>Solid State Communications</i> 255-256 (2017) 20-23.	SCOPUS	Q2
26	I. Biletskyi, V. V. Bogdanov, Yu I. Boyko, <a href="#">R. V. Vovk</a> , G. Ya Khadzhai, I. L. Goulatis, A. I. Chroneos / Electrophysical properties of nanoporous cerium dioxide–water system // <i>Journal of Materials Science: Materials in Electronics</i> (2017) 28: 2157-2159 DOI 10.1007/s10854-016-5780-y.	SCOPUS	Q2
27	Savich S.V., Samoylov A.V., Kamchatnaya S.N., Goulatis I.L., <a href="#">Vovk R.V.</a> , Chroneos A., Solovjov A.L., Omelchenko L.V. / Effect of the hafnium impurities on the magnetoresistance in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ // <i>JLTP</i> (2017) 186: 285-293 DOI 10.1007/s10909-016-1703-9.	SCOPUS	Q2
28	<a href="#">Yu.V. Bessmolniy, G.Ya. Khadzhai, V.I. Beletskii, D.V. Rokhmistrov, R.V. Vovk, I.L. Goulatis, A. Chroneos</a> / Electro and heat transfer in $\text{Cd}_{0.22}\text{Hg}_{0.78}\text{Te}$ single crystals in the temperature range of their practical applications // <i>Journal of Low Temperature Physics</i> (2018), Volume 190, <a href="#">Issue 1–2</a> , pp 39–44 DOI 10.1007/s10909-017-1810-2.	SCOPUS	Q2
29	<a href="#">R.V. Vovk, G.Ya. Khadzhai, O.V. Dobrovolskiy, S.N. Kamchatna, V.M. Pinto Simoes</a> // Conductivity relaxation in strongly underdoped $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ single crystals / <i>Physica B</i> 518 (2017) p.p. 47-50 <a href="http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2017.05.020">http://dx.doi.org/10.1016/j.physb.2017.05.020</a>	SCOPUS	Q2
30	O. Takayama, P. Dmitriev, E. Shkondin, <a href="#">O. Yermakov</a> , M. Panah, K. Golenitskii, F. Jensen, A. Bogdanov, and A. Lavrinenko. <i>Experimental observation of Dyakonov plasmons in the mid-infrared</i> , <i>Semiconductors</i> 52(4), 442 (2018). DOI: <a href="https://doi.org/10.1134/S1063782618040279">https://doi.org/10.1134/S1063782618040279</a>	SCOPUS (0.8)	Q3

10.2. Перелік опублікованих статей у наукових фахових журналах України, що належать до категорії «Б», статті у закордонних наукових виданнях, що не оцінені за п.10.1, а також англomовні тези доповідей у матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються науково-метричними базами даних WoS та/ або Scopus.

Таблиця 3

№	Повні дані про статті з веб-адресою електронної версії; позначити прізвища авторів, які належать до списку авторів проекту	Тип публікації (стаття категорія Б/тези/стаття 3В)
1	Н.О. Геращенко, К.Е. Немченко, Т.Г. Віхтинська, С.Ю. Рогова Звукові резонанси в надкритичному і надплинному гелії Вісник ХНУ ім. В.Н.Каразіна, <a href="#">Серія "Фізика"</a> , 34 (2021) 33.	стаття
2	Дж.Амри, Т. Медінцева, <a href="#">К.Е. Немченко</a> , Т.Г. Віхтинська Аналітичний розгляд переносу частинок в одновимірних наноструктурах Вісник ХНУ ім. В.Н.Каразіна, Серія "Фізика", 34 (2021) 36.	стаття
3	Р.В. Вовк, К.Э.Немченко Эволюция фононных пучков конечных размеров в сверхтекучем гелии <i>Физика низких температур</i> . — 2020. — Т. 46, № 5. — С. 598-602	стаття
4	Т.Г. Вихтинская, К.Э. Немченко, С.Ю. Рогова Возбуждение колебаний концентрации и температуры вибрирующими телами в сверхтекучем растворе $^3\text{He}$ – $^4\text{He}$ <i>Физика низких температур</i> . — 2018. — Т. 44, № 10 — С. 1358-1362	стаття
5	И.Н. Адаменко, Е.К. Немченко Электрическая поляризация $\text{He II}$ , обусловленная вторым и первым звуками <i>Физика низких температур</i> . — 2017. — Т. 43, № 9 — С. 1295-1303	стаття
6	I.N. Adamenko, E. K. Nemchenko, and K. E. Nemchenko Phonon model of heat radiation into superfluid helium by a solid with a flat surface (Review Article) <i>Физика низких температур</i> .	стаття



	— 2021. — Т. 47, № 8 — С. 703-709	
7	<u>S.V. Savich</u> , A.V. Samoilo, A.L. Samsonik, V.N. Sukhov, K.V. Tiutierieva, A.I. Rusalovich, <u>R.V. Vovk</u> , A.B. Boynik, A. Chronos / Conductivity YBCO ceramics in a wide range of temperatures and concentrations of impurities hafnium // Functional Materials 23, № 1 (2016) p.21-26. <a href="https://doi.org/10.15407/fm23.01.021">https://doi.org/10.15407/fm23.01.021</a>	стаття
8	K.V. Tiutierieva, Ya.V. Dovgopolova, O.O. Chernovol-Tkachenko, I.L. Ivrij, <u>R.V. Vovk</u> , S.I. Prihod'ko / Effect of pressure on paraconductivity in HoBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub> single crystals with oxygen deficiency // Functional Materials, 23, N3 (2016), p. 370-377. <a href="https://doi.org/10.15407/fm23.03.370">https://doi.org/10.15407/fm23.03.370</a>	стаття
9	Edwin Gevorkyan, Volodymyr Mechnik, Mykola Bondarenko, <u>Ruslan Vovk</u> , Sergiy Lytovchenko, Volodymyr Chishkala, Olga Melnik / Peculiarities of Obtaining Diamond-(Fe-Cu-Ni-Sn) Composite Materials by Hot Pressing // Functional Materials, 24, №1 (2017), p. 31-45. <a href="https://doi.org/10.15407/fm24.01.031">https://doi.org/10.15407/fm24.01.031</a>	стаття
10	Y.I. Boiko, V.V. Bogdanov, <u>R.V. Vovk</u> , A.G. Ort, Yu.V. Litvinov / Single-file diffusion in oxygen underdoped ReBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-x</sub> (Re=Y,Ho) single crystals // Functional Materials (2017) Volume 24, Issue 4, 2017, Pages 527-529. <a href="https://doi.org/10.15407/fm24.04.527">https://doi.org/10.15407/fm24.04.527</a>	стаття
11	<u>R.V. Vovk</u> , N.M. Prokopiv, V.A. Chishkala, <u>M.V. Kislitsa</u> / Formation of structure and properties of composite material Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -SiC in the process of electroconsolidation // Functional Materials, 25, № 1 (2018), p. 43-47. <a href="https://doi.org/10.15407/fm25.01.043">https://doi.org/10.15407/fm25.01.043</a>	стаття
12	<u>R.V. Vovk</u> , <u>M.V. Kislitsa</u> , M. Rucki / Phase formation in the SiC-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> system during hot pressing by the method of electroconsolidation // Functional Materials, Volume 26, Issue 1, 2019, Pages 78-82. <a href="https://doi.org/10.15407/FM26.01.78">https://doi.org/10.15407/FM26.01.78</a>	стаття
13	Alexandr Grib, <u>Ruslan Vovk</u> , <u>Sergii Savich</u> , Volodymyr Shaternik. Electrical properties of stacks of many long Josephson junction. Вісник ХНУ імені В.Н.Каразіна, серія «Фізика», вип.20, 2019. с.38-41 DOI:10.26565/2222-56172018-29-02	стаття
14	Yu. I. Boyko, V.V. Bogdanov, <u>R.V. Vovk</u> , Korshak V.F. Electroosmotic pressure in the process of a biocompatible coating applying on the inner surfaces of nanostructured ceramics. Вісник ХНУ імені В.Н.Каразіна, серія «Фізика», вип.31, 2019. с.38-41 DOI:10.26565/2222-5617-2019-31-05	стаття
15	Yu. I. Boyko, V.V. Bogdanov, <u>R.V. Vovk</u> . Search for new superconducting compounds with a critical transition temperature T <sub>c</sub> close to room temperature under pressure/ Вісник ХНУ імені В.Н.Каразіна, серія «Фізика», вип.32, 2020. с.10-13 DOI:10.26565/2222-5617-2020-32-01	стаття
16	Yu.I. Boyko, V.V. Bogdanov, <u>R.V. Vovk</u> , B.V. Grinyov. Capillary (Laplace) pressure and superconductivity of nano-sized crystalline particles of semimetals. Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна, серія «Фізика», вип.32, 2020. с.34-40 DOI: <a href="https://doi.org/10.26565/2222-5617-2020-32-04">https://doi.org/10.26565/2222-5617-2020-32-04</a>	стаття
17	V.I. Beletskiy, G.Ya. Khadzhai, <u>R.V. Vovk</u> , N.R. Vovk, A.V. Samoylov, I.L. Goulatis, O.V. Dobrovolskiy / Suppression of vortex lattice melting in YBCO via irradiation with fast electrons // Journal of Materials Science: Materials in Electronics (2019) 30 (7): 6688-6692 <a href="https://doi.org/10.1007/s10854-019-00978-x">https://doi.org/10.1007/s10854-019-00978-x</a>	стаття
18	O.V. Dobrovolskiy, V.V. Sosedkin, R. Sachser, <u>V.A. Shklovskij</u> , <u>R.V. Vovk</u> , M. Huth / Zero-Bias Shapiro Steps in Asymmetric Pinning Nanolandscapes // J Supercond Nov Magn (2017) 30: 735-741. <a href="https://doi.org/10.1007/s10948-016-3642-8">https://doi.org/10.1007/s10948-016-3642-8</a>	стаття
19	A.L. Solovjov, L.V. Omelchenko, E.V. Petrenko, <u>R.V. Vovk</u> , V.V. Khotkevych, and A. Chronos / Peculiarities of pseudogap in Y <sub>0.95</sub> Pr <sub>0.05</sub> Ba <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>7-δ</sub> single crystals under pressure up to 1.7 GPa // Scientific Reports (2019) 9:20424. <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-019-55959-1">https://doi.org/10.1038/s41598-019-55959-1</a>	стаття
20	O.V. Dobrovolskiy, V.M. Bevz, E. Begun, R. Sachser, <u>R.V. Vovk</u> , and M. Huth / Fast	стаття



	dynamics of guided magnetic flux quanta // Physical Review Applied 11, 054064 (2019). <a href="https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.11.054064">https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.11.054064</a>	
21	Grib A., Savich S., Vovk R., Shaternik V., Shapovalov A., Seidel, P. Electrical Characteristics of Long Josephson Junctions Based on Tungsten Nanorods as Weak Links: Effect of Random Critical-Current Distributions. IEEE Transactions on Applied Superconductivity. 28 (7): 1-1 (2018). <a href="https://doi.org/10.1109/TASC.2018.2865468">https://doi.org/10.1109/TASC.2018.2865468</a>	стаття
22	N.Kuganathan, P. Iyngaran, R. Vovk, and A. Chroneos / Defects, dopants and Mg diffusion in MgTiO <sub>3</sub> // Scientific Reports (2019) 9:4394. <a href="https://doi.org/10.1038/s41598-019-40878-y">https://doi.org/10.1038/s41598-019-40878-y</a>	стаття
23	O. Yermakov, H. Schneidewind, U. Hubner, T. Wieduwilt, M. Zeisberger, A. Bogdanov, Yu. S. Kivshar and M. A. Schmidt. <i>Record-breaking light coupling into nanostructured optical fibers under large incident angles</i> // Proceedings of SPIE 11773, 117730B (2021). DOI: <a href="https://doi.org/10.1117/12.2590790">https://doi.org/10.1117/12.2590790</a>	тези (Scopus)
24	O. Yermakov, and A. A. Bogdanov. <i>Polarization states of surface electromagnetic waves on resonant anisotropic metasurfaces: from theory to experimental verification in microwaves</i> // 2020 IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW), 559-563 (2020). DOI: <a href="https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252569">https://doi.org/10.1109/UkrMW49653.2020.9252569</a>	тези (Scopus)
25	O. Yermakov, A. Hurshkainen, D. Dobrykh, P. V. Kapitanova, I. V. Iorsh, S. B. Glybovski, and A. A. Bogdanov. <i>Polarization hybridization of surface waves on anisotropic metasurface</i> // Journal of Physics: Conference Series, 1461, 012196 (2020). DOI: <a href="https://doi.org/10.1088/1742-6596/1461/1/012196">https://doi.org/10.1088/1742-6596/1461/1/012196</a>	тези (Scopus)
26	M. Stepikhova, D. Yurasov, A. Yablonskiy, S. Sergeev, O. Yermakov, S. Dyakov, E. Skorokhodov, A. Novikov, and Z. Krasil'nik. <i>Photoluminescence enhancement phenomena in photonic crystal slabs formed on Si structures with the self-assembled Ge nanoislands</i> // IEEE 16th International Conference on Group IV Photonics, 1949 (2019) DOI: <a href="https://doi.org/10.1109/GROUP4.2019.8853878">https://doi.org/10.1109/GROUP4.2019.8853878</a>	тези (Scopus)
27	O. Y. Yermakov, and A. A. Bogdanov. <i>Eigenmodes degeneracy with Huygens-like all-dielectric metasurface</i> // Journal of Physics: Conference Series, 1092, 012169 (2018). DOI: <a href="https://doi.org/10.1088/1742-6596/1092/1/012169">https://doi.org/10.1088/1742-6596/1092/1/012169</a>	тези (Scopus)
28	O. Y. Yermakov, D. V. Permyakov, P. A. Dmitriev, A. K. Samusev, I. V. Iorsh, A. V. Lavrinenko, and A. A. Bogdanov. <i>Plasmonic anisotropic metasurfaces: from far-field measurements to near-field properties</i> // Proceedings of SPIE, 10671, 1067118 (2018). DOI: <a href="https://doi.org/10.1117/12.2306801">https://doi.org/10.1117/12.2306801</a>	тези (Scopus)
29	O. Y. Yermakov, F. V. Porubaev, A. A. Bogdanov, A. K. Samusev, I. V. Iorsh. <i>Retrieval procedure of effective conductivity for plasmonic resonant anisotropic metasurface</i> // AIP Conference Proceedings, 1874, 030040 (2017). DOI: <a href="https://doi.org/10.1063/1.4998069">https://doi.org/10.1063/1.4998069</a>	тези (Scopus)
30	O. Y. Yermakov, I. S. Mukhin, A. K. Samusev, A. A. Bogdanov, I. V. Iorsh. <i>Effective conductivity tensor of plasmonic anisotropic metasurface: Theory and experiment</i> // Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS), IEEE, 1524 (2017). DOI: <a href="https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8261988">https://doi.org/10.1109/PIERS.2017.8261988</a>	тези (Scopus)
31	O. Y. Yermakov, A. A. Bogdanov, I. V. Iorsh, K. Y. Bliokh, and Yu. S. Kivshar. <i>Tunable spin-directional coupling for surface localized waves with anisotropic metasurface</i> // Proceedings of SPIE, 10227, 1022703 (2017). DOI: <a href="https://doi.org/10.1117/12.2261663">https://doi.org/10.1117/12.2261663</a>	тези (Scopus)
32	M. Mazanov, O. Yermakov, I. Deriy, O. Takayama, A. Bogdanov, and A. V. Lavrinenko. <i>Photonic Spin Hall Effect: Contribution of Polarization Mixing Caused by Anisotropy</i> , <b>Quantum Reports</b> , 2(4), 489-500 (2020). DOI: <a href="https://doi.org/10.3390/quantum2040034">https://doi.org/10.3390/quantum2040034</a>	стаття

10.3. Перелік монографій (розділів монографій) за напрямом проекту, виданих міжнародними видавництвами офіційними мовами Європейського Союзу або публікацій у виданнях з квартилями Q1-2, а також монографії, які містять інформацію, що становить державну таємницю для проектів оборонного і подвійного призначення, які не входять в табл. 2.

Таблиця 4

№	Повні дані про монографії (розділи монографій) із вказанням видавництва / публікації у виданнях квартилів Q1-2; <u>позначити прізвища авторів</u> , які належать до списку авторів проекту	Кількість друк. арк.
1		

10.4. Перелік монографій (розділів монографій) за напрямом проекту, що опубліковані українською мовою в українських видавництвах або публікації у виданнях з квартилями Q1-4, які не входять в табл. 2 та табл. 4.

Таблиця 5

№	Повні дані про монографії (розділи монографій) із вказанням видавництва / публікації у виданнях квартилів Q1-4; <u>позначити прізвища авторів</u> , які належать до списку авторів проекту	Кількість друк. арк.
1	<u>Р.В. Вовк</u> , Е.С. Геворкян, В.П. Нерубацький, М.М. Прокопів, В.О.Чишкала, О. М. Мельник Нові керамічні композиційні матеріали інструментального призначення : монографія /. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2018. – 200 с.ISBN 978-966-285-506-7 <a href="https://karazinbook.com/sites/default/files/books/vovk.pdf">https://karazinbook.com/sites/default/files/books/vovk.pdf</a> Іл. – 137, табл. – 38, бібліогр. – 180 найм.	12.5

10.5. Захищені дисертації доктора філософії (кандидата наук) авторами проекту або під керівництвом авторів проекту

Таблиця 6

№	Дані про дисертації (автор, назва дисертації, спеціальність, науковий керівник, рік та місце захисту); <u>позначити прізвища авторів/керівників</u> , які належать до списку авторів проекту
	Овчаренко Антон Ігорович / Ovcharenko Anton; Назва: "Modelling of resonant optical nanostructures with semi-analytical methods based on the object eigenmodes"; Спеціальність: 01.04.05 Оптика, лазерна фізика; Науковий керівник: Sauvan C.; Рік та місце захисту: 20 грудня 2019 року, Institut d'Optique Graduate School, France
	Немченко Єгор Костянтинович «Процеси теплоперенесення та електрична активність в моделях взаємодіючих квазічастинок надплинного гелію». Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.02 – теоретична фізика. Науковий керівник д.ф.-м.н., професор <u>Немченко К.Е.</u> . Рада при Фізико-технічному інституті низьких температур імені Б. І. Веркіна (Харків), 2018.
1	Котвицька Клавдія Андріївна. «Вплив дефектів різної морфології на магніторезистивні властивості монокристалів $ReBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ ( $Re=Y, Ho, Pr$ )». Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла. Науковий керівник д.ф.-м.н., професор <u>Вовк Р.В.</u> Рада при Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна Д 64.051.03, захист 13.05.2016 р.
	Єрмаков Олег Євгенович / Yermakov Oleh; Назва: «Dispersion and polarization peculiarities of surface electromagnetic waves on resonant anisotropic metasurfaces»;

	Спеціальність: 01.04.05 Оптика, лазерна фізика; Науковий керівник: Богданов А. А. / Bogdanov A. A.; Рік та місце захисту: 23 грудня 2020 року, ITMO University [онлайн]
2	Савич Сергій Володимирович. «Структурна релаксація і вплив старіння на процеси переносу у ВТНП-сполуках системи 1-2-3». Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла. Науковий керівник д.ф.-м.н., професор <u>Вовк Р.В.</u> Рада при Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна Д 64.051.03, захист 12.10.2018 р.

10.6. Захищені дисертації доктора наук авторами проекту або під консультуванням авторів проекту

Таблиця 7

№	Дані про дисертації (автор, назва дисертації, спеціальність, науковий консультант, рік та місце захисту); <u>позначити прізвища авторів/консультантів, які належать до списку авторів проекту</u>
1	Гриб Олександр Миколайович. «Когерентна динаміка систем з джозефсонівськими контактами». Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук. Консультант: <u>Р.В. Вовк</u> . Спеціальність: 01.04.22 – надпровідність. Захист: 21 березня 2017 р. Спеціалізована вчена рада Д 64.175.03 Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, м. Харків

10.7. Кількість загальноуніверситетських наукових грантів та проектів, зокрема тих, що фінансуються з бюджету МОН України, за тематикою проекту, за якими працювали автори проекту, що фінансувались закордонними та/чи вітчизняними організаціями.

Таблиця 8

№	ПІБ виконавців	Назва гранту	Замовник	Обсяг фінансування тис. грн.
1	Вовк Р.В.	Координатор від Харківського регіону 7-ї Міжнародної дослідницької програми академічного обміну (IRSES) в рамках проекту NoWaPhen «Новітні хвильові явища в магнітних наноструктурах».	Європейська Спільнота, угода №: PIRSES-GA-2009-247556	400,000
2	Вовк Р.В.	Grant Agreement number 644348 – Magnonics Interactions and Complexity a multifunctional aspects of spin wave dynamics – H2020-MSCA-RISE-2014	Міжнародна дослідницька програма академічного обміну (IRSES) Горизонт 20-20 в рамках проекту «MagIC»	900,000
3	Вовк Р.В.	Наноструктуровані надпровідні гетероструктури з гібридними бар'єрами для генерації та реєстрації випромінювання субтерагерцового діапазону частот	Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України, м.Київ	68,000
4	Вовк Р.В.	Бюджетна тема № 1–12–19. «Модифікація електронним опроміненням електрофізичних властивостей шаруватих та наноструктурованих систем».	МОН України	2543,19
5	Вовк Р.В.	Бюджетна тема № 1–12–17.	МОН України	1650
6	Вовк Р.В.	Бюджетна тема № 1–12–16.	МОН України	1050,393

10.8. Перелік отриманих охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності (ОПВ) або підручники, словники, що створені як службові твори (для соціо-гуманітарних наук).

Таблиця 9

№	Повні дані про охоронні документи на ОПВ/підручники, словники (зазначити кількість др.арк.) з веб-адресою електронної версії; позначити прізвища авторів, які належать до списку авторів проекту
1	Патент на корисну модель 131979 СПОСІБ ВИРОЩУВАННЯ БЕЗДОМШКОВИХ МОНОКРИСТАЛІВ Номер заявки: u201808190 дата подання заявки: 25.07.2018 Патент опубліковано 11.02.2019, бюл. № 3/2019 МПК С30В 9/00 Винахідники: <u>Вовк Руслан Володимирович (UA)</u> ; Геворкян Едвін Спартакович (UA); Камчатна Світлана Миколаївна (UA); Білецький Володимир Іванович (UA). <a href="https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1090303/">https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1090303/</a>
2	Патент на корисну модель 134362 СПОСІБ ОТРИМАННЯ ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ Номер заявки: u201812626 дата подання заявки: 19.12.2018 Патент опубліковано 10.05.2019, бюл. № 9/2019 МПК С23С 4/10 (2016.01), С23С 14/00, С23С 14/48 (2006.01), С22С 19/05 (2006.01) Винахідники: Панченко Сергій Володимирович (UA); <u>Вовк Руслан Володимирович (UA)</u> ; Тимофеева Лариса Андріївна (UA ); Устенко Олександр Вікторович (UA ); Тимофеев Сергій Сергійович (UA ); Федченко Ірина Іванівна (UA ); Грибанов Микола Віталійович (UA ) Власник: УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ (UA). <a href="https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1355191/">https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1355191/</a>
3	Патент на корисну модель 134403 СПОСІБ НАНЕСЕННЯ ЕЛЕКТРОКОНТАКТІВ НА КРИСТАЛИ $YBa_2Cu_3O_{7-d}$ Номер заявки: u201813042 дата подання заявки: 28.12.2018 Патент опубліковано 10.05.2019, бюл. №9/2019 МПК С30В 9/00 Винахідники: <u>Вовк Руслан Володимирович (UA)</u> ; Камчатна Світлана Миколаївна (UA); Білецький Володимир Іванович (UA) Власник: УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ (UA). <a href="https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1355232/">https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1355232/</a>
4	Патент на корисну модель 135538 СПОСІБ ВИДАЛЕННЯ ДВІЙНИКІВ З МОНОКРИСТАЛІВ $YBa_2Cu_3O_{7-d}$ Номер заявки: u201812725 дата подання заявки: 21.12.2018 Патент опубліковано 10.07.2019, бюл. №13/2019 МПК С30В 1/00 Винахідники: <u>Вовк Руслан Володимирович (UA)</u> ; Камчатна Світлана Миколаївна (UA); Білецький Володимир Іванович (UA) Власник: УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ (UA). <a href="https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1367285/">https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1367285/</a>

## 11. ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ЗА ТЕМАТИКОЮ ПРОЕКТУ

Таблиця 10

№ з/п	Назви показників очікуваних результатів	Кількість
1.	Будуть опубліковані за темою проекту статті у журналах, що індексуються в наукометричних базах даних WoS та/або Scopus	7
	- з квантилем Q1-2 на момент опублікування	2
	- з квантилем Q3-4 на момент опублікування	5
	- наукові статті у виданнях, які містять інформацію, що становить державну таємницю для проектів оборонного і подвійного призначення	
2.	Будуть опубліковані статті у наукових журналах, збірниках наукових праць, матеріалах конференцій тощо, що індексуються наукометричними базами даних WoS або Scopus, в тому числі фахових виданнях України категорії А, а також публікації у виданнях, які містять інформацію, що становить державну таємницю для проектів оборонного і подвійного призначення.	11
3.	Отримано охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної	2

	власності (у тому числі свідоцтв на реєстрацію авторського права на твір)	
4.	Буде захищено дисертацій доктора наук/доктора філософії авторами проекту або під консультуванням/керівництвом авторів проекту	2
5.	Будуть опубліковані монографії (розділи монографії) за напрямом проекту, виданих міжнародними видавництвами офіційними мовами Європейського Союзу (зазначити кількість д.а.), а також монографії із грифом таємності для проектів оборонного і подвійного призначення.	4 д.а.
6.	Будуть опубліковані монографії (розділи монографії) та/або підручники, словники, навчальні посібники за напрямом проекту, виданих українськими і закордонними видавництвами (зазначити кількість д.а.)	5 д.а.
7.	Буде отримано актів впровадження результатів реалізації проектів у господарську практику органів державної влади, ЗВО, ДУ, приватних компаній (на договірних засадах) та ін.	1
8.	Буде отримано грантів та/або укладено договорів на виконання науково-дослідних робіт (кількість).	2

## 12. ЕТАПИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

Таблиця 11

Етапи роботи (рік)	Назва та зміст етапу	Обсяг фінансування етапу	Очікувані результати етапу (зазначити конкретні наукові результати та наукову і науково-технічну продукцію). Звітна документація та показники (зазначити кількість запланованих публікацій, захистів магістерських, кандидатських та докторських дисертацій, отримання охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності - відповідно до пп табл.10).
1 (2022)	<b>Взаємодія хвиль довільної природи з межами довільної шорсткості</b> Дослідження процесів відбиття та проходження хвиль на двовимірних та одновимірних межах між середовищами при довільних співвідношеннях між характерними параметрами шорсткості та довжинами хвиль, а також між імпедансами середовищ	500 тис.	Розв'язки задач, пояснення експериментальних даних, нові теоретичні результати. Будуть опубліковані за темою проекту статті у журналах, що входять до науково-метричних баз даних 4 статті Захищено 2 магістерські роботи
2 (2023)	<b>Взаємодія електромагнітних хвиль з межами довільної шорсткості на поверхні оптоволоконних пристроїв</b> Дослідження застосування шорстких наноповітряних	500 тис.	Проведено теоретичне дослідження та моделювання запропонованих методів. Запропоновані нові експерименти для їх підтвердження та практичного застосування. Будуть опубліковані за темою проекту статті у журналах, що входять до науково-метричних баз даних 6 статей

	для суттєвого підвищення проникнення електромагнітних хвиль до оптоволоконних пристроїв		Захищено 2 магістерські роботи Захищено 1 кандидатська дисертація
3 (2024)	<b>Взаємодія фононів в акустичній моделі та інших квазічастинок з межами квантових середовищ та твердих тіл.</b> Розповсюдження тепла та струму в рамках моделі квазічастинок в надпровідниках та квантових рідинах.	500 тис.	Створено модель, яка дає напівмікроскопічний опис колективних мод та квазічастинок в надречовинах. Пояснено існуючі експериментальні результати, запропоновано нові експерименти. Будуть опубліковані за темою проекту статті у журналах, що входять до науково-метричних баз даних 6 статей Захищено 2 магістерські роботи Захищено 1 кандидатська дисертація та 1 докторська дисертація

### 13. ВИКОНАВЦІ ПРОЕКТУ (з оплатою в межах запиту):

- доктори наук: 2, кандидати наук/доктори філософії: 4;
- молоді вчені 4, з них кандидатів/докторів філософії (до 35 років) 4;
- наукові працівники без ступеня 1;
- інженерно-технічні кадри: 1, допоміжний персонал: 1;
- докторанти: 0; аспіранти: 3; студенти: 2.

Р а з о м 14:

### 14. ОСНОВНІ ВИКОНАВЦІ ПРОЕКТУ\* (до 5 осіб з оплатою в межах запиту):

Таблиця 12

№ з/п	Прізвище, ім'я, по батькові	Науковий ступінь	Вчене звання	Посада і місце основної роботи (тел.; E-mail)	Вік та дата народження
1	Немченко Костянтин Едуардович	Доктор фіз.-мат. наук	Проф.	Завідувач кафедри комп'ютерної фізики	56 років 03.02.1965
2	Вовк Руслан Володимирович	Доктор. фіз.-мат. наук	Проф.	Декан фізичного факультету	55 років 02.04.1966
3	Єрмаков Олег Євгенович	Канд. фіз.-мат. наук		асистент кафедри комп'ютерної фізики	28 років 01.02.1993
4	Овчаренко Антон Ігорович	Доктор філософії з фізики		асистент кафедри комп'ютерної фізики	28 років 23.09.1993
5	Немченко Єгор Костянтинович	Канд. фіз.-мат. наук		асистент кафедри інформаційних технологій	31 рік 16.01.1990

\*вносяться дані про основних виконавців (авторів) (до 5 осіб), окрім допоміжного персоналу та студентів.