

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Донецького фізико-технічного інституту
імені С.О. Галкіна НАН України



АНОТОВАНИЙ ЗВІТ
про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту
із виконання наукових досліджень і розробок

КОНТРОЛЬОВАНА ПЕРЕДАЧА КВАНТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ
В НАДПРОВІДНИХ МЕРЕЖАХ

Назва конкурсу: Спільний конкурс Ф81 науково-дослідних проєктів Державного фонду фундаментальних досліджень (ДФФД) і Німецького дослідницького співтовариства (DFG)

Реєстраційний номер Проєкту: Ф 81/41396

Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок (реєстраційний номер та назва Проєкту) Ф 81/41396 Контрольована передача квантової інформації в надпровідних мережах.

Рішення наукової ради Національного фонду досліджень України щодо визначення переможця конкурсу Ф81 науково-дослідних проєктів Державного фонду фундаментальних досліджень (ДФФД) і Німецького дослідницького співтовариства (DFG) протокол від «20» липня 2021 року № 28.

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ

Загальна тривалість виконання проєкту 2021 рік – 2021 рік
Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 26 липня 2021 року
(дата укладання Договору про виконання наукового дослідження і розробки)

Закінчення – 15 грудня 2021 року

Загальна вартість Проєкту, грн. 260 000,00

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік, грн. 260 000,00

2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ

до виконання Проєкту залучено 4 виконавців, з них:

доктори наук 1;

кандидати наук 2;

інші працівники 1.

3. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ГРАНТООТРИМУВАЧА ТА ОРГАНІЗАЦІЮ(І) СУБВИКОНАВЦЯ(ІВ) ПРОЄКТУ

	Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України Donetsk Institute for Physics and Engineering named after O.O. Galkin of the National Academy of Sciences of Ukraine
Скорочена найменування Інституту	ДонФТІ НАН України DonPhTI NAS of Ukraine
ЄДРПОУ	05420497
КВЕД	72.19 – Дослідження й експериментальні розробки у сфері інших природничих і технічних наук
Керівник установи	Білошенко Віктор Олександрович Beloshenko Victor Alexandrovich
Основні напрями наукових досліджень	Властивості матеріалів в екстремальних умовах. Розробка і створення нових, у тому числі наноструктурованих конструкційних і функціональних, матеріалів.
Адреса	пр. Науки, 46, м. Київ, 03028, Україна 46. Nauky Av., Kyiv, 03028, Ukraine
Тел. / факс	+380 44 524 0480
E-mail:	donfti.nanu@ukr.net
web:	http://www.donphti.kiev.ua

4. ОПИС ПРОЄКТУ

4.1. Мета Проєкту (до 200 знаків)

Визначення фізичних механізмів, відповідальних за квантовий транспорт у гібридних надпровідних мережах, розробка та вдосконалення компонентів таких мереж для контрольованої передачі квантової інформації.

4.2. Основні завдання Проєкту (до 400 знаків)

- Розробка адекватних теоретичних моделей балістичного транспорту просторово-локалізованих хвильових пакетів через надпровідні мережі.
- Створення методики, здатної контролювати розподіл струмів в надпровідних лініях передачі і всередині квантових матеріалів.
- Розрахунки впливу навколишнього середовища на квантовий транспорт в складних гетероструктурах на основі надпровідників.

4.3. Детальний зміст Проєкту:

- Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)

Розробка і створення квантових мереж, здатних об'єднати різні квантові системи, вимагає реалізацію мобільних кубітів, які будуть здійснювати обмін інформацією між стаціонарними квантовими процесорами (вузлами). На цей час таку функцію виконують фотони в оптичному діапазоні, а квантові процесори побудовано на основі надпровідників. Реалізувати квантову взаємодію між ними є складним інженерним завданням.

- Новизна Проєкту (до 400 знаків)

Автори Проекту пропонують передавати квантову інформацію між надпровідними квантовими процесорами за допомогою квазічастинкових збуджень, що розповсюджуються по надпровідним одновимірним каналам. Цей спільний з німецькими колегами Проект є першим фундаментальним дослідженням можливості керованої і контрольованої передачі квантової інформації в розгалужених надпровідних мережах.

- Методологія дослідження (до 400 знаків)

Запропоновані шляхи реалізації квантових мереж ґрунтуються на оригінальних ідеях, які було висловлено раніше авторами Проекту в трьох спільних публікаціях 2016-2018 рр. Завдання української групи полягає у розробці теоретичних основ функціонування надпровідних мереж, які дозволять створити разом з німецькими колегами якісно нові пристрої для обробки і розповсюдження квантової інформації.

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

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

Запропоновано оригінальну (інтуїтивно зрозумілу та достатньо просту) методику розрахунку транспортних характеристик багаточастинкових гібридних структур на основі надпровідників з нормальними та ізолюючими нанорозмірними прошарками. Результати, отримані раніше в рамках підходу Ландауера до двотермінальної схеми вимірювань, узагальнено на випадок багатотермінальних мезоскопічних провідників. Основні формули, отримані авторами Проекту, мають достатньо простий вигляд, придатний для безпосереднього порівняння з експериментом, з мінімальним числом підгинних параметрів.

Узагальнено формалізм зарядового розсіювання в надпровідних гетероструктурах на випадок темпоральних процесів і проаналізовано залежний від часу транспорт просторово-локалізованих хвильових пакетів крізь елементи надпровідної мережі. Беручи до уваги важливість масштабування компонентів електронних схем і необхідність впровадження квантових технологій на твердотільній платформі, досліджено можливість передачі квантових даних, кодованих в квазічастинкових зарядах, через нанорозмірний розгалужувач квантових потоків, що складається з трьох надпровідних дротів, з'єднаних у вузлі, розмір котрого має не перевищувати довжину надпровідної когерентності. Для передачі квантової інформації в один із проводів пристрою вводиться хвильовий пакет, створений набором квазічастинкових станів. Теоретично показано, що відповідний вибір вхідного хвильового пакету дозволяє контролювати співвідношення вихідних зарядів за допомогою феноменологічного параметру, який встановлює новий енергетичний масштаб у хвильовому пакеті, синтезованому із вільних електронних хвильових функцій з різними хвильовими числами. Така методика може бути потужним інструментом контролю струму квазічастинкових носіїв заряду у напрямку розповсюдження сигналу, а також його інтенсивності.

Розроблено оригінальний спосіб визначення топологічно захищених крайових струмів у квантових матеріалах, який дозволяє просторово розділити провідні канали в кільці з даного матеріалу на об'ємні і крайові і порівняти виміряні спектри диференціальної провідності з теоретично очікуваними. Метод базується на новій модифікації скануючого зондового мікроскопу з двома вістрями, один із котрих знаходиться в надпровідному стані, завдяки чому суттєво підвищується чутливість даного пристрою до квантових кореляцій, що формують специфіку квантово-когерентного транспорту в досліджуваних матеріалах. Реалізація запропонованих експериментів буде здійснюватися в 2022 році німецькими партнерами з Університету імені Фрідріха Шиллера, м. Єна, Німеччина.

З'ясовано теоретично вплив непружної взаємодії квазічастинкових збуджень із зовнішніми ступенями свободи (декогеренції) на транспортні характеристики гібридних систем. Показано, що аналіз ймовірності проходження та/або зворотного розсіювання квазічастинок в квантових

мережах на основі надпровідників дозволяє отримати детальну інформацію щодо ступеня декогеренції квазічастинкових станів в нормальному міжбар'єрному прошарку та фізичної природи цього явища.

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

Запропонований підхід до розповсюдження квантової інформації між квантовими процесорами на основі надпровідників за допомогою квантових транспортних каналів є цілком оригінальним і не має аналогів.

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

Безумовна практична цінність квантових технологій визначена відповідними рішеннями Європейського Союзу та багатьох провідних країн. Запущена у жовтні 2018 року десятирічна програма «Quantum Technologies Flagship» має своєю метою підтримку роботи сотень квантових дослідників і країнах ЄС із очікуваним бюджетом в 1 млрд. євро. Найважливішою частиною цього масштабного проєкту є підтримка впровадження результатів європейських досліджень у відповідні комерційні програми, а одним з чотирьох основних сфер практичного застосування є квантовий зв'язок, який обіцяє безпечне транспортування відповідних даних та повідомлень через інформаційні мережі, а також надшвидкісні квантові обчислення. Цей спільний Проєкт має стати одним із важливих факторів фундаментального характеру, здатних пришвидшити прогрес в цій галузі сучасної науки і техніки.

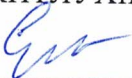
5.4. Опис шляхів та способів подальшого використання результатів виконання Проєкту в суспільній практиці.

Вирішення проблеми послідовного і керованого маніпулювання кубітами і наступне створення квантових мереж обіцяє принципові зміни і в народному господарстві, і навіть у повсякденному житті, оскільки зберігаючи і маніпулюючи інформацією, втіленою в кубітах, квантові комп'ютери мають величезний потенціал щодо вирішення великої кількості проблем, які виходять далеко за межі можливостей сучасних обчислювальних машин. Незважаючи на значний інтерес до області транспорту квантової інформації, поки що не вдалося досягти радикального прогресу в цій галузі. Даний спільний українсько-німецький Проєкт має стати важливим кроком на шляху створення надпровідних мереж для розповсюдження квантової інформації, створеної вже існуючими надпровідними квантовими процесорами.

Науковий керівник Проєкту

Старший науковий співробітник
Донецького фізико-технічного інституту
імені О.О. Галкіна НАН України

Олена ЖИТЛУХІНА



(підпис)