

ЗАТВЕРДЖУЮ



Проректор з наукової роботи
Київського національного університету
імені Тараса Шевченка

Толстанова Г.М.

(ПБ)

м.п.

ЗВІТ

про проміжні результати реалізації проекту
з виконання наукових досліджень (розробок)

за конкурсом **“Спільні українсько-швейцарські проекти з виконання наукових досліджень:
Конкурс проектів 2023”**

за I етап

«Мультимодальне детектування іонізуючих частинок за
допомогою вирощених з розчинів гібридних монокристалів
органічно-неорганічних галоїдних перовскітів»

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Реєстраційний номер проекту 2023.01/0066

Назва спільного проекту «Мультимодальне детектування іонізуючих частинок за допомогою вирощених з розчинів гібридних монокристалів органічно-неорганічних галоїдних перовскітів»

Тривалість виконання проекту 36 місяців

Початок 01.04.2025

Закінчення 31.03.2028

Тривалість етапу **11,5** місяців

Початок 01.04.2025

Закінчення 15.03.2026

Науковий керівник проекту з боку Швейцарії _____ Maksym Kovalenko, ETH Zürich-ETHZ
(повне ім'я та місце роботи)

Науковий керівник проекту з боку України__ Безшийко Олег Анатолійович, доцент фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка ____
(ПІБ та місце роботи)

Вартість проекту за Грантовою угодою _____ 149'985 (CHF) _____ сто сорок дев'ять тисяч дев'ятсот вісімдесят п'ять (сума цифрами та прописом)

1-й етап _____ 53'570 (CHF) _____

2-й етап _____ 48'210 (CHF) _____

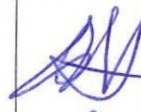

3-й етап _____ 48'205 (CHF) _____


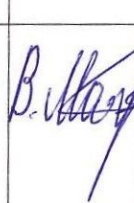
2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ СПІЛЬНОГО ПРОЄКТУ

Залучені виконавці проекту з боку Швейцарії

Повне ім'я, роль в проекті	Місце роботи або навчання	Стать	Посада, наукове звання	Основні завдання (стислий опис)
Професор Максим Коваленко, керівник проекту	ETH Zürich- ETHZ	Чол.	Професор, науковий керівник	Науковий керівник
Аспірантка Анастасія Сахацька	ETH Zürich- ETHZ	Жін.	аспірантка	Вирощування монокристалів перовскіту в розчині (M1), Характеристика основного матеріалу та транспорту заряду в ОІХП СК (M2)

Залучені виконавці проекту з боку України

Повне ім'я, роль в проекті	Місце роботи або навчання	Стать	Посада, наукове звання	Основні завдання (стислий опис)	Підпис
Доцент Безшийко Олег	КНУ	чол	Доцент, PhD науковий керівник	Науковий керівник	
Дослідниця Голінка- Безшийко Лариса	КНУ	жін.	Доцент, PhD	Виявлення альфа-, бета- частинок (M5) Радіаційна стійкість (M6)	

Дослідник Олександр Баужа	КНУ	чол.	Доцент, PhD	Моделювання для покращення оптимальної геометрії детектора та кодів (M7) Аналіз специфічних властивостей для кожного типу випромінювання для дискримінації частинок (M8)	
Дослідниця Валентина Маляренко	КНУ	жін.	Доцент, PhD	Виготовлення пристроїв (M9) Встановлення оптимальних умов росту для найкращого складу ОІНР (M10)	

3. ОПИС ПРОЄКТУ

Будь ласка, стисло окресліть мету та завдання проєкту (до 120 слів).

У цьому дослідницькому проєкті ми прагнемо дослідити придатність детекторів радіації на основі ОНГП для мультимодального детектування альфа-, бета-, гамма- та нейтронних частинок. Завдання дослідження включають комплексне вивчення ефективності виявлення для кожного типу випромінювання, а також дослідження здатності детекторів ОНГП розрізняти різні типи частинок. Методи дослідження в рамках проєкту включатимуть моделювання ефективності виявлення випромінювання для розробки оптимальної архітектури детектора, вирощування монокристалів з використанням зворотної температурної кристалізації в розчині, виготовлення приладу з осадженням тонких плівок електродів, характеристику переносу заряду з використанням методів часу прольоту і перехідного фотоструму, характеристику виявлення іонізуючих частинок, а також оцінку жорсткості випромінювання. Крім того, ця пропозиція має на меті сприяти міжнародному науковому співробітництву між Швейцарією та Україною.

4. ДЕТАЛЬНИЙ ЗМІСТ ПРОЄКТУ

Будь ласка, стисло окресліть сучасний стан проблеми, новизну та методологію дослідження (до 300 слів).

Останні досягнення в реєстрації іонізуючого випромінювання значно активізувалися завдяки появі нових напівпровідників - гібридних органічно-неорганічних галогенідних перовскітів (ОНГП). ОНГП мають набір властивостей для виявлення іонізуючого випромінювання прямого перетворення: простий, низькотемпературний процес синтезу розчину, високу здатність зупиняти випромінювання завдяки наявності атомів з високим вмістом Z, відмінні властивості переносу заряду і значну толерантність до дефектів. Слід зазначити, що ОНГП також мають значний вміст атомів водню, необхідний для виявлення нейтронів за допомогою протонів віддачі. Це відкриває можливість виявлення широкого спектру - альфа-, бета-, гамма- і нейтронів - за допомогою одного напівпровідникового матеріалу, раніше не реалізованого і що досліджується в рамках проєкту.

Металогалідні перовскіти на основі метиламонію (CH_3NH_3^+ , MA) та свинцю (Pb^{2+}) є перспективним напівпровідником завдяки унікальному поєднанню електронних та оптичних властивостей, високого поглинання радіаційного випромінювання, а також можливість вирощування монокристалів з розчину. Металогалідні перовскіти мають загальну формули ABX_3 , де A – органічний катіон, B – метал, а X – галід. Типовим представником є MAPbBr_3 , який має ширину забороненої зони $E_g \approx 2,2\text{--}2,3$ eV. Цей матеріал демонструє високе поглинання у діапазоні оптичного, ультрафіолетового, рентгенівського і γ -випромінювання, має високу рухливість носіїв заряду та їх час життя та низьку щільність дефектів у монокристалічній формі, є перспективним для фото та радіаційних детекторів.

Наша мета - дослідити здатність ОНГП до мультимодального детектування різних типів іонізуючого випромінювання. Оскільки ОІНР складаються з органічних і важких елементів, це робить їх особливо ефективними в поглинанні як гамма-фотонів, так і швидких нейтронів. Це унікальне поєднання з властивостями переносу заряду в ОНГП і простим методом вирощування кристалів позиціонує ОНГП як потенційний універсальний матеріал для застосування в радіаційній дозиметрії і спектроскопії. Основні завдання проєкту : 1: Синтез та основні характеристики монокристалів ОНГП, включаючи відтворення композицій перовскіту. 2: Оптимізація виготовлення приладів. 3: Визначення характеристик виявлення альфа-, бета-, гамма- і нейтронних частинок та їхньої дискримінації. Буде оцінено можливості дискримінації для забезпечення точної ідентифікації різних типів випромінювання.

5. ПРОМІЖНІ РЕЗУЛЬТАТИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРОЄКТУ ЗА ЕТАП

Будь ласка, опишіть дослідницьку роботу, проведenu виконавцями в обох країнах протягом звітнього періоду, посилаючись на заплановані та досягнуті цілі, задачі та індикатори виконання, згадані в календарному плані дослідження. Надайте основні результати дослідження в межах звітнього етапу та поясніть їх актуальність. Включіть назви та посилання на публікації у наукових виданнях, що є підтвердженням досягнення індикаторів виконання проєкту (не більше 2 сторінок без урахування переліку публікацій).

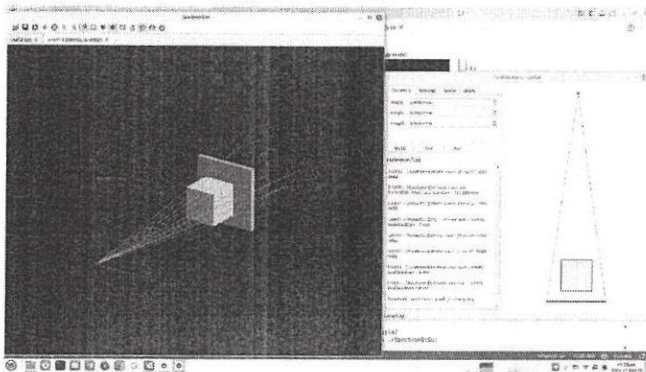
1.1 Вирощено монокристали ОІНР сучасного складу (ETHZ).

R1.2 Набір даних про структурні характеристики вирощених монокристалів ОІНР (ETHZ).

R1.3 Набір даних про властивості переносу заряду вирощених монокристалів ОІНР (ETHZ).

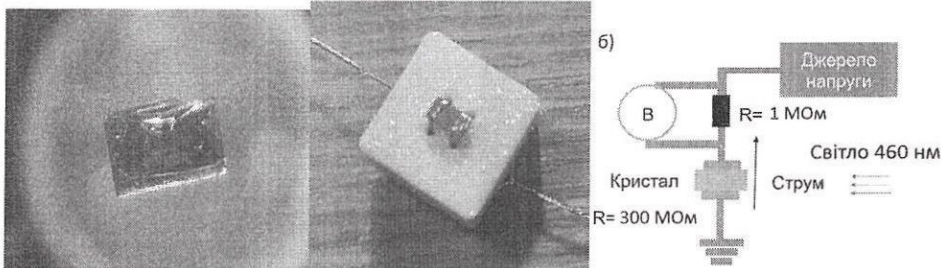
R1.4 Набір даних з прогнозованою ефективністю виявлення вирощених монокристалів ОІНР (TSNUK)

Ефективність була розрахована в пакеті GEANT4 (див. R1.6 та R1.7)

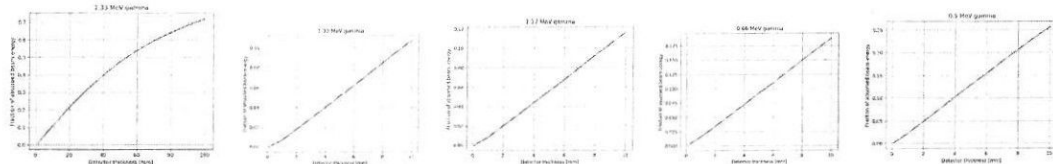


11.5 Виготовлені пристрої ОІНР R1.5.

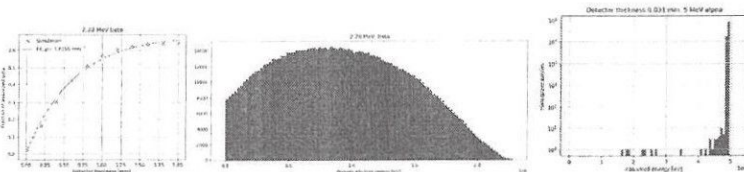
На рисунках наведено пристрої - детекторні на перовскітних матеріалах



R1.6 Набір даних з ефективністю виявлення гамма-випромінювання



R1.7 Набір даних з ефективністю виявлення альфа- та бета-випромінювання



R.1.8 Підготовлено наукові публікації з результатами.

O. A. Bezshyyko, L. O. Golinka-Bezshyyko, D.M. Klekots, V. S. Orlov. PEROVSKITE MATERIALS AND THEIR USE IN IONIZING RADIATION DETECTION, XXIV КОНФЕРЕНЦІЯ З ФІЗИКИ ВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ ТА ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ (Харків, 2026 р.).

11.9 Нотатки про зустрічі.

В паперовому рукописному вигляді

6. ВІДХИЛЕННЯ ВІД КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Будь ласка, вкажіть та обґрунтуйте відхилення від календарного плану дослідження. Слід також згадати такі події, як зміни у складі виконавців проєкту, затримка початку проєкту тощо (не більше 1 сторінки).

Оскільки аспірант Владислав Орлов (планувалася його участь у проєкті) пішов з аспірантури та з Університету, із-за цього створилася затримка в даті початку проєкту (і відповідно етапу) для заміни виконавця (на доцента кафедри ядерної фізики і високих енергій Голінки-Безшийко Лариси Олександрівни).

7. ЗАХОДИ В МЕЖАХ СПІВПРАЦІ

Будь ласка, перерахуйте усі форми співпраці, в тому числі зустрічі, обмінні візити вчених або спільні дослідницькі відрядження, участь у конференціях, робочих нарадах, інших наукових заходах тощо, які відбулися протягом звітнього періоду.

Назва та місце проведення заходу	Учасники	Мета	Терміни (наприклад, з 25.10.2024 до 11.12.2024)	Тривалість (дні)
Київ	Уся українська група напряму, Сахацька Анастасія від швейцарської сторони, всі інші – по ZOOM зв'язку	Узгодження дій і робота з нейтронами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання	01.12.2025 до 03.12.2025	3 дні
ZOOM	Уся українська група напряму, і швейцарська група напряму – по ZOOM зв'язку	Узгодження дій і оцінка отриманих результатів	19.12.2025	1 день
ZOOM	Уся українська група напряму, і швейцарська група напряму – по ZOOM зв'язку	Узгодження дій і оцінка отриманих результатів	30.01.2026	1 день

ZOOM	Уся українська група напряму, і швейцарська група напряму – по ZOOM зв'язку	Узгодження дій і оцінка отриманих результатів	06.03.2026	1 день

Крім того, прокоментуйте успіхи та проблеми співпраці (наприклад, комунікація, координація проєкту, передача наукової продукції тощо) до 120 слів.

Проведено оцінку можливості ефективної роботи в умовах зимових постійних інтенсивних російських бомбардувань. Вирішено перевести закупівлю обладнання, матеріалів та поїздки до Швейцарії на II етап виконання проєкту. Також проведено тренувальні вирощування кристалів в рамках роботи МАН для школярки та міжнародного конкурсу для школярів.

8. КОМЕНТАРІ З ПИТАНЬ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗВІТНОГО ЕТАПУ ПРОЄКТУ

Будь ласка, прокоментуйте будь-які аспекти, не описані в попередніх розділах.

Незважаючи на інтенсивні російські бомбардування робота продовжувалася і з української сторони всі завдання виконані.

9. ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ ЕТАПУ З БОКУ ГРАНТООТРИМУВАЧА

До звіту необхідно додати витяг з протоколу засідання вченої (наукової, науково-технічної, технічної) ради грантоотримувача щодо результатів проміжного етапу реалізації проєкту з висновком про відповідність робіт, виконаних за проєктом, технічному завданню та календарному плану.

Науковий керівник проєкту _____


(підпис)

_____ Безшийко Олег Анатолійович _____

(ПІБ)