



**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка  
проф. Ганна ТОЛСТАНОВА

(підпис)  
М.П.

**АНОТОВАНИЙ ЗВІТ**  
**про виконану роботу у 2021 році в рамках реалізації проєкту**  
**із виконання наукових досліджень і розробок**  
«Гібридні наносистеми для фотоімунотерапії в оптико-рентгенівському діапазоні енергій»  
(назва Проєкту)

**Назва конкурсу:** «Підтримка досліджень провідних та молодих учених»  
**Реєстраційний номер Проєкту:** 2020.02/0367

**Підстава для реалізації Проєкту з виконання наукових досліджень і розробок** (реєстраційний номер та назва Проєкту) № 2020.02/0367 «Гібридні наносистеми для фотоімунотерапії в оптико-рентгенівському діапазоні енергій»

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

**1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ ПРО ПРОЄКТ**

Загальна тривалість виконання проєкту 2020 рік – 2022 рік

Тривалість виконання Проєкту у 2021 році

Початок – 30.04.2021  
(дата укладання Договору про виконання наукового дослідження і розробки)

Закінчення – 15.12.2021

Загальна вартість Проєкту, грн. 4 541 050

Вартість Проєкту по роках, грн.:

1-й рік 740 070

2-й рік 1 876 400

3-й рік 1 924 580

**2. ІНФОРМАЦІЯ ПРО ВИКОНАВЦІВ ПРОЄКТУ**

до виконання Проєкту залучено 7 виконавців, з них:

доктори наук 2;

кандидати наук 5;

інші працівники 0.

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

*Грантоотримувач:*

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

Код ЄДРПОУ: 02070944,

Код(и) КВЕД: 72.19 Дослідження й експериментальні розробки у сфері інших природничих і технічних наук,

Відомча підпорядкованість: Міністерство освіти і науки України,

*Співвиконавець:*

Інститут скінтіляційних матеріалів Національної академії наук України,

Код ЄДРПОУ: 23756522,

Код(и) КВЕД: 72.19 Дослідження й експериментальні розробки у сфері інших природничих і технічних наук,

Відомча підпорядкованість: Національна академія наук України,

## **4. ОПИС ПРОЄКТУ**

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

Вивчення та дизайн рентген-збуджуваних наносистем для сенсibiliзації активних форм кисню з покращеною взаємодією з мембраною та комбінованою рентгенодинамічною та імунотерапевтичною дією.

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

Для наносистем (НС) “наночастинка важкого елемента / органічна матриця / фотосенсибілізатор (ФС)” вивчити: взаємодію компонентів в НС; перенесення енергії з матриці на ФС; рентгенолюмінесценцію ФС в НС; взаємодію хітозану з НС; вплив наночастинок важкого елемента, матриці та хітозану на генерацію синглетного кисню молекулами ФС; взаємодію НС з мембранами та вплив хітозану на цю взаємодію.

### **4.3. Детальний зміст Проєкту:**

- *Сучасний стан проблеми (до 400 знаків)*

Рентгенодинамічна терапія (РДТ) передбачає глибоке рентгенівське збудження фотосенсибілізатора (ФС) для генерації активних форм кисню при лікуванні раку. Але ефективність конверсії енергії рентгенівських квантів в енергію збуджених станів ФС є низькою. Тому слід виробити і застосувати в РДТ альтернативну концепцію перетворення рентгенівських збуджень в оптичні, і розробити відповідні наносистеми.

- *Новизна Проєкту (до 400 знаків)*

Нами вперше будуть створені фізичні моделі функціональних наносистем, які б поєднували радіодинамічну рентген-збуджувану терапію та імунотерапію, здійснено їх дизайн та досліджено їх флуоресцентні властивості, рентгенолюмінесценцію та генерацію ними синглетного кисню. Крім того, вперше буде встановлено фізичний механізм, за яким хітозан сприяє проникненню наносистем крізь мембрану.

- *Методологія дослідження (до 400 знаків)*

В проєкті заплановане використання наночастинок, які містять важкі атоми і ефективно поглинають рентгенівське випромінювання, в комбінації з органічною матрицею, яка збуджуватиметься вторинними електронами і передаватиме енергію на фотосенсибілізатор за механізмом перенесення електронного збудження. Буде досліджено взаємодію наносистем з хітозаном та вплив хітозану на взаємодію наносистем з модельними мембранами.

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

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

Було вивчено суспензії фулерену, наночастинок фулеренвмісної наносиліки з інкорпорованими сполуками паладію та без них, а також цих сполук з ДНК. Було показано, що енергія збудження фулерену в цих наносистемах майже не витрачається на флуоресцентне випромінювання, що утруднює дослідження перенесення енергії електронного збудження в наносистемі. Разом з тим, було показано, що при збудженні світлом довжиною хвилі 405 нм суспензій фулерену, наночастинок фулеренвмісної наносиліки з інкорпорованими сполуками паладію та без них, а також цих сполук з ДНК значна частина збудження фулерену в досліджених наносистемах витрачається на генерацію синглетного кисню. Також було показано, що ані знаходження молекули фулерену в складі наночастинок фулеренвмісної наносиліки, ані присутність в тій же наночастиці атомів паладію, ані присутність ДНК не перешкоджають генерації фулереном синглетного кисню. Розрахунок поглинання рентгенівських променів наночастинами фулеренвмісної наносиліки з інкорпорованими сполуками паладію продемонстрував, що головну роль в поглинанні рентгенівських променів відіграють атоми силіцію, в той час як атоми паладію в тій кількості, в якій вони присутні в наночастиках, не дають суттєвого внеску в поглинання. Співвиконавцем (Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України) було показано, що ДНК низької молекулярної ваги (на відміну від високомолекулярної) ефективно взаємодіє з модельною мембраною. Це вказує на можливість використання ДНК в дослідженій наносистемі не лише як органічної матриці, а і як носія для проходження крізь мембрану. З іншого боку, цей результат вказує на перспективність протягом подальшого виконання проєкту конструювання наносистеми “наночастинок фулеренвмісної наносиліки з інкорпорованими сполуками паладію / ДНК” саме з участю ДНК низької молекулярної ваги.

Також було досліджено поглинання, фото- та рентгенолюмінесценцію, а також люмінесценцію синглетного кисню в наносистемах “наночастинок оксиду гафнію / наночастинок полістиролу / хлорин e<sub>6</sub>”, “наночастинок срібла / ДНК / бербєрин” та “наночастинок фулеренвмісної наносиліки з інкорпорованими сполуками паладію / ДНК” в присутності хітозану. Було показано, що хітозан утворює комплекси з компонентами досліджуваних наносистем (наночастинами полістиролу, хлорином e<sub>6</sub>, фулереном та наночастинами фулеренвмісної наносиліки). Також було показано, що в наносистемі “наночастинок оксиду гафнію / наночастинок полістиролу / хлорин e<sub>6</sub>” хітозан не впливає на перенесення енергії збудження, але впливає на генерацію синглетного кисню.

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

На прикладі наносистеми “наночастинок фулеренвмісної наносиліки з інкорпорованими сполуками паладію / ДНК” було показано, що значна частина збудження фулерену в досліджених наносистемах витрачається на генерацію синглетного кисню, причому ані знаходження молекули фулерену в складі наночастинок фулеренвмісної наносиліки, ані присутність в тій же наночастиці атомів паладію, ані присутність ДНК не перешкоджають генерації фулереном синглетного кисню. Було продемонстровано ефективну взаємодію низькомолекулярної ДНК з модельною мембраною. Було показано, що наночастинок полістиролу, фулерен та наночастинок фулеренвмісної наносиліки утворюють комплекси з хітозаном. Перевагою є також широкий комплекс застосованих методів – фотометрія і флуоресцентна спектроскопія наносистем, дослідження рентгенолюмінесценції, генерації синглетного кисню та калориметричні вимірювання.

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

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

Отримані результати є підґрунтям для подальшого дослідження наносистем в межах даного проєкту, зокрема вивчення впливу хітозану на взаємодію наносистем з мембраною. Крім того, отримані дані про електронні процеси в досліджених наносистемах (в т.ч. перенесення енергії

збудження, поглинання рентгенівських, ультрафіолетових та видимих квантів світла, люмінесценція, генерація синглетного кисню), взаємодію між їх компонентами та про їхню взаємодію з хітозаном будуть також корисними для подальшого створення наносистем для рентгенодинамічної іменотерапії та інших застосувань.

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

**Науковий керівник Проєкту**

Провідний науковий співробітник  
(посада)

Валерій ЯЩУК

(Власне ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

  
(Анна БУРИХ)