

Голові разової спеціалізованої вченої  
ради Інституту сцинтиляційних  
матеріалів Національної академії наук  
України,  
члену-кореспонденту НАН України,  
доктору фізико-математичних наук,  
професору  
Єфімовій Світлані Леонідівні

### **ВІДГУК**

**офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, старшого  
наукового співробітника, професора кафедри спеціальної хімії та хімічної  
технології Національного університету цивільного захисту України**

**Трефілової Лариси Миколаївни**

на дисертаційну роботу

**Хромюка Іларіона Федоровича**

«Механізм формування імпульсу затриманої радіолоюмінесценції в органічних гетероструктурованих сцинтиляторах та їх здатність до роздільної реєстрації іонізуючих випромінювань за формою сцинтиляційного імпульсу», подану до захисту у разову спеціалізовану вчену раду Інституту сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки

#### **Актуальність обраної теми дисертації.**

На даний момент фізико-хімічні властивості та експлуатаційні характеристики нових перспективних сцинтиляційних матеріалів і, зокрема, органічних гетероструктурованих сцинтиляторів, все ще проходять стадію вивчення. Вже відомі їх світловий вихід, прозорість, а також значення FOM – величини, яка може служити для оцінки здатності сцинтилятора ідентифікувати вид іонізуючого випромінювання. Але разом з тим, на даний момент часу відсутні комплексні дослідження сцинтиляційних матеріалів з точки зору механізму

фізичних процесів, що лежать в основі методів ідентифікації іонізуючого випромінювання за формою сцинтиляційного імпульсу.

Автор дисертаційної роботи приділив основну увагу дослідженню транспорту та рекомбінації триплетних станів в органічних гетероструктурованих сцинтиляторах. Це пояснюється тим, що, по-перше, ці процеси, ще не вивчалися для досліджуваних зразків сцинтиляційних матеріалів, а по-друге, мають велике прикладне значення тому, що відповідають за ідентифікацію іонізуючих випромінювань, що є дуже важливою в різних застосуваннях, таких як спостереження надмалих змішаних потоків іонізуючих випромінювань, радіоекологія, радіомедицина, митний контроль і т. ін.

Актуальність роботи підкреслюється тим, що вона виконувалася в рамках декількох наукових проектів, таких як:

1) тема Національного фонду досліджень України «Гетероструктуровані органічні сцинтилятори із високою здатністю до розділення іонізуючих випромінювань за формою сцинтиляційного імпульсу для задач радіоекології» (№ держреєстрації 0120U104034, 2020-2021 рр.);

2) тема Національного фонду досліджень України «Розробка ефективних детектуючих систем для задач радіоекології, щодо найбільш шкідливих для людини іонізуючих випромінювань» (№ держреєстрації 0123U102596, 2023-2025 рр.);

3) пошукова тема «Особливості формування радіолюмінесцентного відгуку у органічних матеріалах із стохастичним характером розповсюдження світла» (№ держреєстрації 0122U200141, шифр «Кераміка», 2022 р.);

4) пошукова тема «Розробка нового підходу щодо отримання органічних полікристалічних сцинтиляторів» (№ держреєстрації 0123U101435, шифр «Квазімоно», 2023 р.).

### **Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів.**

Дисертаційна робота Хромюка Іларіона Федоровича складається із вступу, п'яти розділів, кожен з яких закінчується висновками, загальних висновків та списку використаних джерел. Обсяг роботи складає 165 сторінок; робота містить 52 рисунки і 22 таблиці; у списку використаних літературних джерел – 104 найменування.

Вступ містить актуальність обраної теми дисертаційної роботи, мету, завдання роботи, вказано методи досліджень та визначені практичне значення і

новизна досліджень, вказані наукові програми, в рамках яких були отримані результати, що викладені в дисертаційній роботі. У Вступі також наведені посилання на статті та тези конференцій, в яких викладені результати досліджень за темою дисертаційної роботи. В цих публікаціях обговорюється актуальність питань, які розглядаються у рамках дисертаційної роботи здобувача, і це, безперечно, свідчить про визнання отриманих результатів науковою спільнотою всього світу. Зазначені особистий внесок здобувача та загальна структура дисертаційної роботи.

Перший розділ дисертаційної роботи присвячений огляду фізичних принципів та механізмів, на яких базуються дослідження, що проводяться в роботі. Проведено логічне структурування послідовності вирішення поставлених в роботі задач, проаналізовано наявні публікації за тематикою та виявлено необхідність проведення досліджень у напрямку вивчення руху триплетних екситонів в обмежених за розміром гранулах органічних сцинтиляційних матеріалів. Зазначено, що описані в літературі ефекти можуть використані до покращення розділення іонізуючих випромінювань органічними гетероструктурованими сцинтиляторами на основі цих гранул, але вплив цих розмірних ефектів ще не був досліджений.

Другий розділ містить опис методів досліджень, проведених в роботі, налаштувань вимірювальної апаратури, алгоритмів її роботи, а також схеми вимірювальних установок. В цьому ж розділі наведені запропоновані здобувачем методики числової оцінки здатності сцинтиляційних матеріалів, що досліджуються, та подібних до них інших сцинтиляційних матеріалів до розділення іонізуючих випромінювань за формою сцинтиляційного імпульсу. В цьому розділі також описані методи та технологічні особливості отримання досліджуваних в роботі зразків сцинтиляторів із чітким зазначенням матеріалів, обладнання та його робочих режимів, параметрів і налаштувань, використаних в рамках даної дисертаційної роботи.

Третій розділ дисертації включає детальний опис експериментальних зразків, отриманих для проведення досліджень, а також наведені вихідні експериментальні дані проведених автором вимірювань, обробка та аналіз яких дозволяє в повній мірі вирішити задачі даної дисертаційної роботи. Наведені в цьому розділі експериментальні дані підкріплені якісним аналізом як інформації, що визначає як особливості фізичних параметрів зразків, так і можливого впливу на отримані дані особливостей роботи експериментальних установок.

У четвертому розділі здобувач наводить результати обробки та аналізу експериментальних даних, що були отримані при опроміненні досліджуваних зразків різними типами іонізуючих випромінювань. Так, аналіз кінетичних даних дозволив здобувачу оцінити коефіцієнти дифузії триплетних екситонів для декількох органічних сцинтиляційних матеріалів, варіюючи при цьому тип зразків (монокристалічні, полікристалічні та композиційні), розмір гранул гетероструктурованих композиційних зразків, а також типи іонізуючого випромінювання (альфа-частинки, нейтрони та гамма-кванти). На основі цих даних здобувачем в роботі було вперше показано факт необхідності оцінки руху триплетних екситонів в органічних гетероструктурованих сцинтиляторах саме як ізотропного. Отримані дані також дозволили здобувачеві показати, що рух триплетних екситонів в гранулах обмежується розмірами останніх. Також, використовуючи дані із розділу 3 про кінетику імпульсу радіолюмінесценції здобувач на практиці застосував запропоновані ним в розділі 2 математичні методи числової оцінки здатності сцинтиляторів до розділення іонізуючих випромінювань за формою імпульсу і показав кореляцію отриманих даних із тими, що вже наявні в літературі. Також здобувач вперше провів дослідження величини “Figure of merit” для композиційних зразків на основі гранул стильбену та *n*-терфенілу розміром від 0,1 мм.

У п'ятому розділі автор проаналізував взаємодію світла із досліджуваними зразками. Так, базуючись на результатах обробки та аналізу вимірних спектрів фотолюмінесценції автор розрахував енергії перших збуджених триплетних та синглетних станів гетероструктурованих сцинтиляторів на основі стильбену, *n*-терфенілу та антрацену і дослідив процес рекомбінації триплетних екситонів, що виникають в них при фотозбудженні. Опираючись на спектральний склад затриманої флуоресценції досліджуваних зразків та отриманого значення енергії їх першого збудженого триплетного стану, автор продемонстрував ефект відбиття триплетних екситонів від межі гранул.

Висновки автор дисертаційної роботи сформулював, базуючись на поставлених завданнях, і в їх основі лежать результати теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень, проведених в роботі. Наведені висновки повністю відповідають основному змісту дисертаційної роботи.

## **Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях**

Наукові публікації автора, зазначені в дисертаційній роботі, повною мірою відбивають основні її положення. Зміст дисертаційної роботи здобувача викладений у 6 наукових статтях, з яких 5 входять до міжнародної наукової бази Scopus, а 3 опубліковані у фахових виданнях України. Результати дисертаційної роботи апробовані автором на 9 фахових конференціях.

Те, що основна частина матеріалу дисертації опублікована у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, і те, що половина статей опублікована у журналах, що належать до квартилю Q2, а також індекс Хірша здобувача, що дорівнює 2, свідчать про міжнародний рівень роботи та визнання праць Хромюка І.Ф. у науковому світі.

## **Значущість дослідження для науки і практики.**

В рамках дисертаційної отримано ряд вагомих наукових та практичних результатів. До наукових результатів можна віднести наступні:

- Автором запропоновано два методи оцінки здатності органічних сцинтиляторів до розділення іонізуючих випромінювань за формою імпульсу. Один з них базується на розрахунку внеску повільного компонента за точкою перегину, що відповідає розділенню компонент імпульсу радіолюмінесценції за допомогою подвійного диференціювання експериментальної кривої. Другий метод розрахунку внеску повільного компонента, використовуючи апроксимацію швидкого компонента експонентою, що дозволяє виявити повільний компонент відніманням швидкого компонента від експериментальної кривої. Обидва методи дозволяють швидко отримати числові оцінки здатності органічного сцинтилятора до розділення іонізуючих випромінювань.

- Автором вперше обчислено просторові розмірності дифузії триплетних екситонів для ряду органічних гетероструктурованих сцинтиляторів і проаналізовано отримані фізичні величини. Це дає підстави автору стверджувати, що на відміну від монокристалів, рух триплетних екситонів у таких середовищах має бути ізотропним.

- Аналіз вперше отриманих автором значень коефіцієнтів дифузії триплетних екситонів у органічних гетероструктурованих сцинтиляторах дозволив автору

обґрунтовано стверджувати, що дифузія для такого типу зразків відбувається у межах однієї гранули.

- Автор дисертаційної роботи вперше експериментально продемонстрував раніше описаний в літературі ефект відбиття триплетних екситонів від меж гранул органічних гетероструктурованих сцинтиляторів, представив математичний апарат для обчислення критичних розмірів гранул і експериментально встановив, що для досліджуваних речовин таким критичним радіусом, тобто критичною фракцією зерна, є 60 мкм.

До практичної значущості результатів можна віднести те, що результати дисертаційної роботи Хромюка Іларіона Федоровича можуть бути використані при виробництві гетероструктурованих органічних сцинтиляторів із більшим світловим виходом і кращою здатністю до розділення іонізуючих випромінювань завдяки експериментально підтверженому факту того, що розмір гранули органічного сцинтилятора суттєво впливає на процес рекомбінації триплетних екситонів.

### **Дискусійні положення та зауваження до дисертації.**

1. У роботі досліджуються органічні гетероструктуровані сцинтилятори. При цьому більшу увагу приділено композиційним сцинтиляторам у порівнянні із полікристалічними. Наприклад, дослідження, які говорять про суттєвість впливу ефекту відбиття триплетних екситонів від межі гранули проведені лише із застосуванням одношарових композиційних сцинтиляторів. Чим зумовлене таке звуження досліджень?

2. Яким чином використані в роботі розміри гранул впливають на транспорт синглетних екситонів?

3. Базуючись на інформації з розділу 2 дисертації, процес отримання гранул для створення гетероструктурованих зразків призводитиме до появи гранул різної форми, в тому числі й несиметричних. Наскільки доцільно використовувати моделювання гранули саме у вигляді сфери?

4. Чи є можливість безпосередньо дослідити кінетику сцинтиляційного імпульсу в одношарових зразках, що використовуються в роботі?

### Відсутність порушень академічної доброчесності.


Під час виконання дисертації здобувач дотримувався принципів академічної доброчесності. За результатами перевірки та аналізу матеріалів дисертації не було виявлено ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації.

### Загальний висновок та оцінка дисертації.

Вважаю, що за актуальністю, новизною, рівнем і достовірністю отриманих наукових результатів дисертація Хромюка Іларіона Федоровича «Механізм формування імпульсу затриманої радіолюмінесценції в органічних гетероструктурованих сцинтиляторах та їх здатність до роздільної реєстрації іонізуючих випромінювань за формою сцинтиляційного імпульсу» повністю відповідає всім вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Хромюк Іларіон Федорович, безумовно заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 105 Прикладна фізика та наноматеріали галузі знань 10 Природничі науки.

### Офіційний опонент:


доктор фізико-математичних наук, професор  
кафедри спеціальної хімії та хімічної  
технології Національного університету  
цивільного захисту України

  
(підпис)

Лариса ТРЕФІЛОВА

### Підпис засвідчую:

Посада

Підпис 

ЗАСВІДЧУЮ

відділу персоналу

20



М.П.



Ім'я ПРІЗВИЩЕ