

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 рецензента, доктора фізико-математичних наук, завідувача відділу
дослідження люмінесцентних властивостей матеріалів Інституту
сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України

Жмуріна Петра Миколайовича

на дисертаційну роботу

Хромюка Іларіона Федоровича

«Механізм формування імпульсу затриманої радіолюмінесценції 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.

Органічні монокристалічні та рідкі сцинтилятори відомі ще с середини
50- х років ХХ століття, і за цей час добре досліджені, в першу чергу, як детектори
короткопробіжних альфа- та бета-випромінювань, а також швидких нейтронів.
Вони мають як переваги, такі як високий світловий вихід, малий час
висвітлювання та здатність до дискримінації іонізуючих випромінювань, так і
недоліки, до яких можна віднести відносну дороговизну, крихкість та
обмеженість максимального розміру монокристалів, та токсичність та
пожежонебезпечність рідких сцинтиляторів. Для вирішення цих задач відносно
нещодавно були запропоновані гетероструктуровані органічні сцинтилятори,

такі як полікристали та композиційні сцинтилятори. Вони складаються з окремих гранул, які, у першому випадку, поєднуються спіканням під тиском, а у другому – вміщуються у полісилоксанову матрицю. Ці детектори наразі продовжують досліджуватися, але переважно з технологічної точки зору, тобто вивчення фізичних процесів для таких об'єктів ще не завершено.

Автор дисертаційної роботи розглядає питання транспорту та рекомбінації триплетних екситонів в гранулі органічного сцинтилятора. Базуючись на твердженнях про ефект відбиття триплетних екситонів від меж гранули автор пропонує модель їх рекомбінації в малих гранулах таку, що із ускладненням їх траєкторії кількість цих рекомбінації підвищується. Це, в свою чергу, має підвищити інтенсивність затриманого компоненту імпульсу радіолюмінесценції, а отже і ефективність розділення іонізуючих випромінювань. Запропонувавши теоретичну модель та провівши ряд експериментів автор на практиці показав можливість такого ефекту, який в майбутньому, після усунення низки технологічних обмежень, може бути використаний для створення кращих детекторів для забач розділення іонізуючих випромінювань за формою імпульсу радіолюмінесценції.

Актуальність дисертаційної роботи і вагомість отриманих результатів підтверджується тим, що вона виконувалась в межах наукових проєктів, зокрема

Виконання дисертаційної роботи в межах ряду проєктів підтверджує її актуальність та вагомість отриманих результатів. Це такі проєкти 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 містить вступ, п'ять розділів з висновками, загальні висновки та список використаних джерел. Обсяг роботи складає на 165 сторінок; робота містить 52 рисунки і 22 таблиці; список використаних літературних джерел складається зі 104 найменувань.

У вступі зазначені мета, актуальність та задачі дисертаційної роботи. Визначені об'єкт та предмет досліджень, наукова та практична новизна дисертаційної роботи, вказані методи досліджень. Зазначені наукові програми, публікації та конференції, які містять результати досліджень за темою дисертаційної роботи та проведені автором. Визначений особистий внесок здобувача. Наведені структура дисертації та її обсяг.

У першому розділі здобувач приводить фізичні засади, окреслення яких необхідне для детального вивчення процесів, зазначених в меті дисертаційної роботи. Літературний огляд як нових, так і базових робіт за темою дисертації дозволив здобувачеві зробити висновок про необхідність проведення зазначених досліджень, адже вони мають важливе наукове та практичне значення.

У другому розділі здобувач приводить методики створення та дослідження ряду сцинтиляційних властивостей досліджуваних в дисертаційній роботі зразків. Вказані режими роботи устаткування та обладнання, наведені схеми установок. В цьому ж розділі автор привів нові методи визначення вкладу повільного компонента в сцинтиляційний імпульс. Їх перевагою можна визнати те, що обидва методи дають можливість простим математичним апаратом оцінити здатність сцинтилятора до розділення іонізуючих випромінювань.

У третьому розділі здобувач приводить перелік використаних зразків, а також отримані вихідні експериментальні дані. Коротко аналізуються спостережені та наочно видні на графіках особливості, аналізується можливий вплив устаткування на форму отриманих залежностей.

У четвертому розділі здобувач переходить до математичної обробки та аналізу експериментальних даних. В цьому розділі виокремлені результати, пов'язані із збудженням досліджуваних зразків іонізуючим випромінюванням.

Аналіз отриманих даних дозволив автору показати факт відсутності переходу триплетних станів між гранулами гетероструктурованого сцинтилятора. Також експериментально доведено необхідність підходу до транспорту триплетних станів у таких зразках із урахуванням розорієнтованості окремих гранул, тобто вважати його ізотропним. Виходячи з цих положень автор теоретично обчислив та показав в експерименті наявність оптимального розміру гранул, при якому у гранулі створюється достатня кількість триплетних станів і вони знаходяться у достатньо малому просторі. В цьому ж розділі автором застосовано запропоновані ним же математичні методи розділення компонентів сцинтиляційного імпульсу, а також проведено обробку експериментальних даних вже відомими методами. Порівняння результатів дозволило автору стверджувати застосовність запропонованих ним методик.

У п'ятому розділі автором оброблені та проаналізовані дані, отримані при опроміненні зразків світлом, а саме люмінесценції та оптичного пропускання. Автором послідовно отримані значення енергій перших збуджених синглетного та триплетного рівнів для ряду зразків, і на основі цих даних проведено збудження фотонами світла досліджуваних зразків у перший триплетний стан із метою наочно показати зростання інтенсивності затриманої флуоресценції зі зменшенням розміру гранул внаслідок відбиття триплетних станів від меж гранул і збільшення кількостей їх рекомбінацій.

У висновках автор керувався поставленими завданнями і формулював їх на основі проведених досліджень. Висновки повністю відповідають змісту дисертаційної роботи.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях

Аналіз приведених у вступі публікацій автора дозволяє стверджувати, що всі вони присвячені дослідженням в напрямку дисертаційної роботи та містять основні положення дисертації.

Більша частина змісту дисертаційної роботи здобувача Хромюка Іларіона Федоровича викладена у 6 наукових статтях, 5 з яких входять до бази Scopus, 3 – у фахових виданнях України, та апробована на 9 фахових конференціях.

Необхідно зазначити, що у зв'язку із тим, що майже всі статті входять до видань, що індексовані в Scopus, в тому числі таких як Nuclear Instruments and Methods: Section B (Q2), Journal of Luminescence (Q2), Optical Materials: X (Q2), що дозволило автору отримати значну цитованість робіт і h-індекс, що дорівнює двум, можна стверджувати про високий науковий рівень роботи та визнання праць Хромюка І.Ф. у науковому товаристві.

Значущість дослідження для науки і практики.

Дисертаційна робота Хромюка І.Ф. містить як наукову, так і практичну значущість. Проаналізовано широкий спектр зразків, матеріалів, типів та видів збудження, розмірів гранул гетероструктурованих зразків. До наукової значущості можна віднести наступне:

1. Запропоновано та підтверджено застосованість двох нових методів розділення компонентів сцинтиляційного імпульсу, перевагами яких є їх математична простота із достатньою точністю.

2. Визначено ізотропний характер розповсюдження триплетних екситонів при аналізі їх дифузії у гетероструктурованих органічних сцинтиляторах.

3. Показано обмеження дифузії триплетних екситонів межами однієї гранули органічного сцинтилятора, тобто їх замкнутість в ній.

4. Показано, що обмеження руху триплетних екситонів дозволяє отримати ефект, коли різко підвищується інтенсивність повільного компоненту сцинтиляційного імпульсу як наслідок покращення їх рекомбінації.

До практичної значущості можна віднести те, що із застосуванням приведених в дисертаційній роботі Хромюка Іларіона Федоровича методів та даних можуть бути рекомендовані для виробництва гетероструктуровані органічні сцинтилятори, які мають більший світловий вихід та вищу здатність до розділення іонізуючих випромінювань за формою сцинтиляційного імпульсу за рахунок покращення рекомбінації триплетних екситонів в таких середовищах.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації.

1. При дослідженні транспорту триплетних станів у полікристалічних зразках у розділі 4 дисертантом отримано наступне: коефіцієнт дифузії триплетного екситону зберігається для таких зразків на рівні монокристалу, однак просторова розмірність дифузії вказує на необхідність розглядання їх

транспорту як ізотропного. Водночас такі зразки відрізняються від композиційних тим, що існує можливість спікання окремих, орієнтованих в різних напрямках, гранул. Наскільки істотним буде вплив потрапляння триплетного екситону із гранули з однією орієнтацією до гранули з іншою при оцінці транспорту триплетного стану?

2. В розділі 4 на основі даних досліджень світлового виходу одношарових композиційних сцинтиляторів при опроміненні альфа-частинками стверджується, що ефект відбиття триплетних екситонів від межі гранули є причиною зростання світлового виходу. Чи є принципова можливість провести дослідження світлового виходу та здатності до розділення із використанням зразків більшої товщини при опроміненні їх нейтронними або нейтрон-гамма джерелами?

3. Як в розділі 4, так і в розділі 5 для всіх типів досліджуваних сцинтиляційних речовин при аналізі транспорту триплетних станів в них можна побачити, що для гранул фракції 0,06-0,1 мм виникає падіння як світлового виходу (розділ 4), так і інтенсивності затриманої флуоресценції (розділ 5). Чим такий ефект може бути обґрунтований?

4. Запропоновані дисертантом в розділі 4 методики розділення компонент сцинтиляційного імпульсу були застосовані лише до монокристалічних та гетероструктурованих органічних сцинтиляторів. Водночас серед органічних сцинтиляторів широко застосованими також є пластмасові та рідкі сцинтилятори. Чітко не позначено, чи є застосованими та із якими можливими обмеженнями ці методики як до цих типів органічних сцинтиляторів, так і до неорганічних сцинтиляторів в цілому?

Наведені зауваження, втім, не применшують загальної високої оцінки дисертаційної роботи та не знижують рівня її наукової і практичної цінності.

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 радіюлюмінесценції в органічних гетероструктурованих скінтіляторах та їх здатність до роздільної реєстрації іонізуючих випромінювань за формою скінтіляційного 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 рецензент:

доктор фізико-математичних наук,
завідувач відділу досліджень
люмінесцентних властивостей матеріалів
Інституту скінтіляційних матеріалів
Національної академії наук України



Петро ЖМУРІН

Підпис Петра ЖМУРІНА засвідчую:
Вчений секретар
Інституту скінтіляційних матеріалів
Національної академії наук України
К. Т. Н.



—Юрій ДАЦЬКО