

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, заступника директора з наукової роботи Інституту  
сцинтиляційних матеріалів Національної академії наук України  
доктора фізико-математичних наук **Сорокіна Олександра Васильовича**  
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.**

Для проведення робіт по детектуванню та спектрометрії швидких  
нейтронів потрібно мати детектори з матеріалу, який забезпечує роздільну  
реєстрацію швидких нейтронів та фонового гамма-випромінювання та містить  
максимально можливу концентрацію атомів водню як матеріалу, який є  
джерелом протонів віддачі. Найбільш ефективними матеріалами для цих задач  
реєстрації є стильбен та *n*-терфеніл. 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.

Водночас, екситонні процеси в об'ємі гетероструктурованого зразка, який містить багато хаотично орієнтованих гранул, до моменту початку робіт над дисертаційною роботою не були досліджені, хоча вони можуть відрізнятися від процесів, характерних для ідеальних монокристалів. Зокрема, міграція триплетних екситонів може бути обмежена розміром гранул гетероструктурованих сцинтиляторів, тому розмір гранул набуває істотного значення. Тому, тема даної дисертаційної роботи, спрямована на з'ясування особливостей фізичних механізмів роздільної реєстрації іонізуючих випромінювань із різними значеннями  $dE/dx$  в органічних гетероструктурованих сцинтиляційних матеріалів, а саме, полікристалів та композиційних сцинтиляторів, за формою сцинтиляційного імпульсу, є безсумнівно актуальною.

### **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 приведені основні фізичні принципи та механізми, які описують появу та рекомбінацію збуджених станів в органічних сцинтиляторах. Показані фактори, що впливають на форму імпульсу радіолюмінесценції, наведені основні сцинтиляційні параметри досліджуваних речовин та типів сцинтиляторів. Проведений літературний огляд щодо здатності до розділення іонізуючих випромінювань за формою сцинтиляційного імпульсу досліджуваних зразків. Обґрунтовано необхідність дослідження фізичних процесів та їх параметрів, що пов'язані саме із транспортом та анігіляцією триплетних станів у гетероструктурованих середовищах.

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. Також наведено нові методи визначення вкладу повільного компонента в сцинтиляційний імпульс, запропоновані здобувачем.

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 проведено аналіз експериментальних даних, отриманих із застосуванням іонізуючого випромінювання, таких як спектри амплітуд сцинтиляцій, кінетика імпульсів радіолюмінесценції та визначення FOM досліджуваних зразків. Встановлено ізотропне розповсюдження триплетних екситонів у гетероструктурованих зразках та шляхом обчислення коефіцієнтів дифузії, показано що процес рекомбінації триплетних станів у гетероструктурованих сцинтиляторах проходить у межах однієї гранули. Числовими методами показано, що запропоновані автором дисертаційної роботи

способи кількісної оцінки здатності до розділення іонізуючих випромінювань за формою імпульсу (як за точкою перегину, так і за апроксимацією швидкого компонента) корелюють із фізичними властивостями досліджуваних сцинтиляторів і можуть бути використані в подальшому. Вперше проведено дослідження параметрів FOM для композиційних сцинтиляторів на основі стильбену та чистого *n*-терфенілу.

У п'ятому розділі проведено аналіз результатів досліджень гетероструктурних та монокристалічних сцинтиляторів оптичними методами. За допомогою аналізу спектрів люмінесценції як твердих, так і рідких зразків при кімнатній температурі та у рідкому азоті обчислені енергії першого збудженого синглетного та триплетного станів для стильбену, *n*-терфенілу та антрацену. Показано, що збудження у першій триплетній стан приводить до появи спектрів затриманої флуоресценції. При цьому спостерігається зростання інтенсивності затриманої флуоресценції зі зменшенням розміру гранул для одношарових зразків, які складаються з гранул малих розмірів. Запропоновано, що підґрунтям для такого ефекту є можливість відбиття триплетних екситонів на межі гранули .

На основі отриманих результатів сформульовано висновки дисертаційної роботи, які повністю відповідають змісту дисертаційної роботи.

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

Основні результати дисертаційної роботи Хромюка Іларіона Федоровича опубліковані у 6 наукових статтях, 5 з яких входять до бази Scopus, з них 3 статті у іноземних журналах, а 3 – у фахових виданнях України. Необхідно зазначити, що 3 статті у іноземних виданнях (Nuclear Instruments and Methods: Section B, Journal of Luminescence, Optical Materials X) відносяться до квартилю Q2 відповідно до бази даних Scopus, що вказує на високий науковий рівень роботи.

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

У роботі Хромюка І.Ф. вперше встановлено особливості транспорту та рекомбінації триплетних екситонів в органічних гетероструктурованих сцинтиляторах. Проаналізовано широкий спектр зразків, матеріалів, типів та видів збудження, розмірів гранул гетероструктурованих зразків. При цьому показано обмеження дифузії триплетних екситонів межами однієї гранули органічного сцинтилятора. Встановлено, що це дозволяє досягти підвищення інтенсивності повільного компонента сцинтиляційного імпульсу як наслідок покращення їх рекомбінації.

До практичної значущості можна віднести те, що за результатами дисертаційної роботи гетероструктуровані органічні сцинтилятори, які мають більший світловий вихід та вищу здатність до розділення іонізуючих випромінювань за формою сцинтиляційного імпульсу, можуть бути рекомендовані до впровадження у виробництво.

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

1. При аналізі повільного компонента сцинтиляційного імпульсу у розділі 4 було проведено апроксимацію отриманих кривих загасання радіолюмінесценції двома методами, а саме двома експонентами та гіперболою, що враховує розмірність дифузії триплетних екситонів. Але результати, отримані обома способами не порівнювалися, хоча в деяких випадках вони дають схожі результати, а в деяких суттєво відрізняється. До того ж, для апроксимації двома експонентами не наведено відповідні амплітуди експонент, що ускладнює розуміння внеску кожної з компонент.

2. Також, робиться висновок про двовимірну дифузію у монокристалах на відміну від тривимірної (ізотропної) для гетероструктурних сцинтиляторів. Але при цьому ніяк не коментується той факт, що для  $\gamma$ -випромінювання для монокристалів також спостерігається ізотропна дифузія.

3. З урахуванням часів загасання радіюлюмінесценції менших за мікросекунди (таблиця 4.6) дивним виглядає час життя триплетних екситонів у монокристалах близько 20 мс, який указано з посиланням на літературні дані. Складається враження, що даний час життя вказаний скоріше для триплетних станів, ніж для триплетних екситонів. Корисно було би порівняти часи загасання отримані для радіюлюмінесценції з такими для фотюлюмінесценції.

4. При аналізі спектрів флуоресценції при фотозбудженні у розділі 5, вказано, що у спектрах гетероструктурних сцинтиляторів з'являються додаткові піки, пов'язані з глибокими пастками для носіїв заряду та екситонів на границях гранул. Як впливають данні пастки на процес віддзеркалення триплетних екситонів від границь для гранул розміром близько 60 мкм?

5. Не є дуже зрозумілим, що автор має на увазі під відносною інтенсивністю затриманої флуоресценції, і як при аналізі цієї величини враховувалося різне поглинання для монокристалічних та гетероструктурних зразків.

6. Дисертація не позбавлена певних недоліків з оформлення, неточних термінів, наприклад як «спектр збудження», та граматичних помилок та одруківок. На мій погляд, винесення експериментальних даних у окремий третій розділ не є зручним для читача.

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 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 рецензент:**

заступник директора з наукової роботи  
Інституту сцинтиляційних матеріалів  
Національної академії наук України  
доктор фізико-математичних наук



Олександр СОРОКІН

12.12.2023