

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Інституту скінтіляційних матеріалів НАН
України, доктору фізико-математичних наук,
старшому науковому співробітнику відділу
гетероструктурованих матеріалів Інституту
скінтіляційних матеріалів НАН України
Тарасенко Олегу Анатолійовичу

ВІДГУК

офіційного опонента - начальника лабораторії дослідження і розробок високочастотних
інжекторних систем лінійних прискорювачів електронів науково-дослідного комплексу
«Прискорювач» ННЦ ХФТІ, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового
співробітника, **Кушніра Володимира Абрамовича**
на дисертаційну роботу

Єлісєєвої Оксани Володимирівни

«Розроблення шляхів підвищення радіаційної стійкості пластмасового скінтілятора»,
подану до захисту у разову спеціалізовану вчену раду Інституту скінтіляційних матеріалів
Національної академії наук України на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 132 Матеріалознавство в галузі знань 13 Механічна інженерія

Актуальність обраної теми дисертації.

Пластмасові скінтілятори (ПС) на основі полістиролу відомі вже тривалий час і завдяки своїм унікальним властивостям широко використовуються при створенні різних детекторів іонізуючого випромінювання. Але у сучасних експериментах з фізики високих енергій до таких детекторів висуваються підвищені вимоги щодо радіаційної стійкості, і використання традиційних пластмасових скінтіляторів з дозою половинного ослаблення світлового виходу 1-5 Мрад вже не може задовольняти умовам експлуатації. Так встановлені на даний момент детектори Великого андронного колайдери (LHC) у ЦЕРНі протягом даного етапу роботи накопичили для найглибших піксельних сенсорів наступні рівні випромінювання: флюенс еквівалентних нейтронів приблизно $2 \times 10^{15} \text{ см}^{-2}$ та іонізуючі доза близько 30 Мрад. В результаті подальшої модернізації LHC очікується більш ніж у 10 разів підвищити інтегральну світність з відповідними більш ніж у 10 разів вищими рівнями випромінювання. У зв'язку з цим проведення досліджень зі створення та вивчення властивостей радіаційно стійких матеріалів, які, зокрема, використовуються в детекторах високих енергій є важливим і актуальним завданням. Тема дисертаційної роботи Єлісєєвої Оксани Володимирівни, яка присвячена розробці методів збільшення радіаційної стійкості пластмасових скінтіляторів, безумовно знаходиться у руслі цих досліджень. Актуальність дисертаційної роботи також підтверджується узгодженням напряму дослідження автора з планами науково-дослідних робіт Інституту скінтіляційних матеріалів НАН України, що виконувалися в рамках як держбюджетних тем так і міжнародних грантових програм.

У роботі досліджено можливість збільшення радіаційної стійкості пластмасового скінтілятора за рахунок використання активаторів з великим зсувом Стоксу, одночасного введення до його складу посилювачів дифузії та зшиваючих агентів, а також використання більш радіаційностійких невінілароматичних полімерних основ. Кожен з розглянутих підходів дозволив підвищити радіаційну стійкість ПС. Отримано нові ПС з радіаційною стійкістю до 60 Мрад. Такі радіаційностійкі скінтіляційні матеріали здатні задовільнити зростаючим потребам експериментів з фізики високих енергій.

Вважаю, що тема дисертаційна роботи Єлісєєвої Оксани Володимирівни, яка присвячена вирішенню важливої задачі підвищення радіаційної стійкості пластмасових скінтіляційних матеріалів містить нові наукові результати і є **важливою, корисною і актуальною.**

Загальна характеристика роботи та отриманих у ній результатів.

Загальний обсяг кваліфікаційної наукової праці, що подана на рецензію, становить 213 сторінок та складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Обсяг основного тексту роботи складається з 127 сторінок (вступ, розділи дисертації та висновки). Список використаних джерел літератури містить 148 найменувань. У дисертації наявно 24 таблиці, 35 рисунків та 3 додатки.

У першому розділі проведено огляд наукової літератури, що дозволив визначити потребу в проведенні даного дослідження. Автор аналізує існуючі методи й підходи до підвищення радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів.

У другому розділі описано синтез активаторів, зшиваючих агентів і підсилювачів дифузії, наведено методики отримання зразків радіаційностійких пластмасових сцинтиляторів та зазначено методи дослідження спектрально-люмінесцентних та сцинтиляційних властивостей отриманих зразків.

У третьому, четвертому та п'ятому розділах надано результати досліджень з підвищення радіаційної стійкості пластмасового сцинтилятора за рахунок використання як активаторів з великим зсувом Стоксу фторпохідних 3-гідроксифлаону, одночасного введення до його складу підсилювачів дифузії та зшиваючих агентів, а також використання полісілоксанових основ. Отримано сцинтиляційні полімерні зразки, досліджено їх радіаційну стійкість і механічні властивості. Розроблено пластмасові сцинтилятори з дозою половинного ослаблення світлового виходу ($D_{1/2}$) до 60 Мрад.

Висновки, наведені в дисертаційній роботі, логічно впливають із поставлених завдань, узгоджуються з метою дослідження та повністю відображають зміст отриманих результатів.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих роботах за темою дисертації

За матеріалами дисертації опубліковано 26 наукових робіт, у тому числі 9 статей у спеціалізованих вітчизняних періодичних виданнях, 9 патентів України на винахід, 8 тез доповідей наукових конференцій.

Значимість дослідження для науки і практики.

Дисертація містить нові, раніше не захищені наукові положення. Автором **вперше**:

- Розроблено та отримано ряд нових люмінесцентних добавок з великим зсувом Стоксу – похідних 3-гідроксифлаону.
- Показано, що введення одного або двох атомів фтору в будь-яку частину молекули 3-гідроксифлаону та його 4'-фенілпохідного не впливає на характер спектрів люмінесценції. Максимум люмінесценції зазнає батофлорного зсуву на 5–10 нм лише після заміни чотирьох атомів водню на фтор. Часові характеристики сцинтиляційного імпульсу пластмасових сцинтиляторів, активованих фторпохідними 3-гідроксифлаону, що містять один, два або чотири атоми фтору, не зазнають змін, при цьому час загасання для всіх зразків становить 7,6 нс.
- Продемонстровано, що використання фтор-, феніл- та фторфенілпохідних 3-гідроксифлаону як активаторів пластмасового сцинтилятора дозволяє суттєво збільшити його радіаційну стійкість та досягнути дози половинного ослаблення світлового виходу ($D_{1/2}$) 49 Мрад.
- Визначено, що одночасне застосування зшиваючого агента та підсилювача дифузії в складі полімерної сцинтиляційної композиції приводить до підвищення радіаційної стійкості матеріалу ($D_{1/2} = 9,7$ Мрад) при збереженні його світлового виходу та механічних властивостей на рівні придатному для функціонального застосування.
- Показано, що використання підсилювача дифузії, зшиваючого агента та похідного 3-гідроксифлаону в одній сцинтиляційній композиції дозволяє суттєво підвищити

радіаційну стійкість пластмасового сцинтилятора ($D_{1/2} = 37$ Мрад), при цьому зберегти його мікротвердість та світловий вихід на високому рівні.

- Встановлено, що в ряду сцинтиляторів на основі полісилоксанів, активованих 2,5-дифенілоксазолом, як радіаційна стійкість, так і світловий вихід збільшуються з підвищенням вмісту фенільних груп у полісилоксановій основі.
- Показано, що поєднання в одній сцинтиляційній композиції одночасно двох полімерних основ – полістиролу та поліфенілметилсилоксану – дозволяє отримати матеріал з високою радіаційною стійкістю ($D_{1/2} = 22$ Мрад) з одночасним збереженням його механічних властивостей на рівні стандартного пластмасового сцинтилятора.

Практичне значення отриманих результатів.

Серед результатів, що мають найбільше практичне значення, слід зазначити такі:

- Отримано радіаційностійкі пластмасові сцинтилятори, що як активатори містять фтор-, феніл- та фторфенілпохідних 3-гідроксифлавону, доза половинного ослаблення світлового виходу яких сягає 49 Мрад.
- Запропоновано склад радіаційностійкого пластмасового сцинтилятора на основі полістиролу, що містять зшиваючі агенти та підсилювачі дифузії ($D_{1/2} = 9,7$ Мрад).
- Синтезовано новий активатор для ПС 2,4,4''-три-*трет*-бутил-1,1':4',1''-терфеніл, здатний розчинятися у полісилоксановій основі до 1,5 мас. %. Створено радіаційностійкий полісилоксановий сцинтилятор, що містить 1 мас. % 2,4,4''-три-*трет*-бутил-1,1':4',1''-терфеніл, доза половинного ослаблення світлового виходу якого складає 60 Мрад.
- Отримано пластмасові сцинтилятори на змішаних основах полістирол-поліфенілметилсилоксан, доза половинного ослаблення світлового виходу яких сягає 22 Мрад, а механічні властивості знаходяться на рівні стандартного ПС.

За результатами розробок отримано 9 патентів України на винахід та розроблено лабораторну методику «Виготовлення радіаційностійкого пластмасового сцинтилятора».

Отримані у роботі результати можуть бути використані при виробництві пластмасових сцинтиляторів із підвищеною радіаційною стійкістю, які знайдуть застосування у фізиці високих енергій, ядерній енергетиці, медицині та інших галузях науки та техніки.

Достовірність наукових результатів, обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Висновки та рекомендації викладені у дисертаційній роботі є обґрунтованими і базуються на результатах експериментів. Результати експериментів одержані із застосуванням добре відомих і надійних методів дослідження фізичних властивостей сцинтиляційних матеріалів та дозиметрії за допомогою сучасного експериментального обладнання, яке забезпечує необхідну точність вимірювань.

Отримані в дисертаційній роботі результати та сформульовані висновки повністю відображені в публікаціях в рецензованих фахових виданнях України та неодноразово були обговорені на міжнародних конференціях та семінарах.

Дискусійні положення та зауваження до дисертації

1 В роботі досліджено три шляхи збільшення радіаційної стійкості пластмасових сцинтиляторів. Бажано було б навести інформацію про переваги та недоліки ПС по кожному з розроблених шляхів. Який більш перспективний шлях отримання радіаційностійких ПС з точки зору використання в масштабних фізичних експериментах?

2 У роботі синтезовано велику кількість похідних 3-гідроксифлавону, а також підсилювачів дифузії та зшиваючих агентів. Методики синтезу складні та багатостадійні. Чи існують комерційні пропозиції цих сполук? Якщо існують, чи не простіше було їх придбати?

3. Відомо, що у традиційних ПС на основі полістиролу та полівінілтолуолу через деякий час після опромінення частково відновлюється світловий вихід. Час відновлення

залежить від дози, потужності дози та середовища. Чи спостерігаються такі ефекти в розроблених в дисертаційній роботі скінтіляторів?

4. Для виявлення переваг розроблених скінтіляторів було б корисно провести порівняння їх параметрів з відповідними параметрами існуючих комерційно доступних аналогічних матеріалів.

Висловлені зауваження несуть дискусійний і рекомендаційний характер і не впливають на загальний висновок про високий науковий рівень роботи та її науково-практичну значущість. Робота є актуальною, її мета та завдання чітко окреслені й повністю реалізовані. Отримані результати свідчать про високий рівень виконаної роботи та заслуговують позитивної оцінки.

Відсутність порушень академічної доброчесності.

У дисертації та наукових публікаціях Єлісєєвої Оксани Володимирівни відсутні порушення академічної доброчесності.

Загальний висновок та оцінка дисертації.

Вважаю, що з огляду на актуальність обраної теми, належну наукову обґрунтованість, достовірність і новизну отриманих результатів, їх теоретичну та прикладну цінність, обсяг і якість виконаних досліджень, рівень сформульованих висновків, а також повне і вичерпне представлення матеріалів у наукових публікаціях, дисертаційна робота Єлісєєвої Оксани Володимирівни на тему «Розроблення шляхів підвищення радіаційної стійкості пластмасового скінтілятора» відповідає чинним 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, Єлісєєва Оксана Володимирівна, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 132 Матеріалознавство в галузі знань 13 Механічна інженерія.

Офіційний опонент:

начальник лабораторії НДК «Прискорювач»
 ННЦ «ХФТІ» НАН України
 доктор фізико-математичних наук
 старший науковий співробітник

08.10.2025

Володимир КУШНІР

Підпис Володимира КУШНІРА засвідчую.

Т.в.о. генерального директора
 Національного наукового центру
 «Харківський фізико-технічний інститут»
 НАН України



[Handwritten signature]

Михайло СОСПАТРОВ