

Д. А. Єлісєєв<sup>1</sup>, О. В. Єлісєєва<sup>1,\*</sup>, Ю. О. Гуркаленко<sup>1</sup>,  
П. М. Жмурін<sup>1</sup>, В. Д. Алексєєв<sup>1</sup>, Р. П. Свояков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Інститут сцинтиляційних матеріалів, НТК «Інститут монокристалів», НАН України, Харків, Україна

<sup>2</sup> Інститут хімії функціональних матеріалів, НТК «Інститут монокристалів», НАН України, Харків, Україна

\*Відповідальний автор: [osvidlo@i.ua](mailto:osvidlo@i.ua)

## РАДІАЦІЙНО СТІЙКІ ПЛАСТМАСОВІ СЦИНТИЛЯТОРИ

Синтезовано фторпохідні 4'-феніл-3-гідроксифлаону, які використано як активатори радіаційно стійкого пластмасового сцинтилятора на основі полістиролу. Створено пластмасові сцинтилятори, що містять 1,0 мас. % відповідних активаторів. Вивчено спектрально-люмінесцентні та сцинтиляційні властивості отриманих матеріалів, а також визначено їхню радіаційну стійкість. Показано, що використання фторпохідних 4'-феніл-3-гідроксифлаону дає змогу отримати пластмасові сцинтилятори з радіаційною стійкістю на рівні 490 кГр.

*Ключові слова:* 4'-феніл-3-гідроксифлаон, активатор, пластмасовий сцинтилятор, світловий вихід, радіаційна стійкість.

### 1. Вступ

Пластмасові сцинтилятори (ПС) широко використовуються в різних галузях як сцинтиляційний елемент детекторів іонізуючого випромінювання. ПС прості у виготовленні, мають високу чутливість, швидкодію і відносно низьку вартість. Проте під впливом іонізуючого випромінювання поступово погіршуються оптичні властивості матеріалу і тим самим зменшується його світловий вихід [1]. Останнім часом спостерігається тенденція до зростання радіаційних навантажень в експериментах з фізики високих енергій. У сучасних фізичних експериментах, таких як ATLAS [2], CMS [3] та LHCb [4], радіаційні навантаження на сцинтилятор можуть сягати десятків мегарад. Але традиційні ПС на основі полістиролу, активованого п-терфенілом, зазвичай мають низький поріг радіаційної стійкості [5]. У комерційних ПС SCSN-81T (Kuragay, Японія), BC-408 (Bicron, США), UPS-923A та UPS-98RH (Amcryst-H, Україна) поріг радіаційної стійкості знаходиться у межах 10 - 50 кГр [6 - 8].

Одна з причин ослаблення світлового виходу ПС при опроміненні високоенергетичними частинками пов'язана з передачею локалізованої енергії збудження атома водню в молекулах сцинтиляційних добавок, що призводить до його відриву від каркаса макромолекули з подальшим утворенням радикалів. Останні можуть утворювати нові хімічні сполуки, здатні поглинати власне випромінювання ПС. Експерименти показують, що при високоенергетичному опроміненні в полістирольній основі ПС утворюються пасткові центри, які ефективно поглинають у діапазоні від 300 нм до 480 нм [9].

Смуга поглинання пасткових центрів перекриває смуги поглинання та люмінесценції традиційних активаторів і шифтерів, що призводить до значного погіршення сцинтиляційних параметрів ПС. Тому один зі шляхів підвищення радіаційної стійкості ПС пов'язаний з перенесенням основної смуги люмінесценції у довгохвильовий діапазон, де відсутні смуги поглинання різного роду дефектів, що утворюються під дією іонізуючого випромінювання [10]. Цей метод передбачає використання як активатора молекул з великим зсувом Стокса, наприклад, 3-гідроксифлаону (ЗНФ) і його алкілпохідних. Застосування цих сполук як активаторів ПС дає змогу підвищити радіаційну стійкість сцинтилятора до 100 кГр [11 - 14]. Але при тих радіаційних навантаженнях, що виникають у сучасних фізичних експериментах, рівня радіаційної стійкості ПС, активованих ЗНФ та його алкілпохідними, вже не вистачає. У результаті опромінення відбувається деградація оптичних параметрів як полімерної основи ПС, так і значною мірою самих молекул активатора. Одним із способів підвищення радіаційної стійкості ПС загалом є підвищення радіаційної стійкості одного з компонентів, а саме – активатора. І досягти цього можливо за рахунок заміни атомів водню у складі молекули ЗНФ атомами фтору.

Отже, сьогодні пошук нових люмінесцентних добавок для створення радіаційно стійких ПС є актуальною задачею. І отримання нових похідних ЗНФ з покращеною радіаційною стійкістю спрямоване саме на її вирішення.

На прикладі 2-([1,1'-біфеніл]-4-іл)-3-гідрокси-4Н-хромен-4-ону (4'-феніл-3-гідроксифлаон,

© Автор(и), 2025

Стаття опублікована ІЯД НАН України за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC 4.0

4'Ph-3HF, рис. 1), який є фенілзаміщеним аналогом 3HF, встановлено, що додавання фенільного кільця у 4'-положення молекули 3HF викликає батохромний і батофлорний зсув спектрів поглинання і люмінесценції та більше, ніж удвічі підвищує інтенсивність поглинання, а також помітно підвищує квантовий вихід люмінесценції [15].

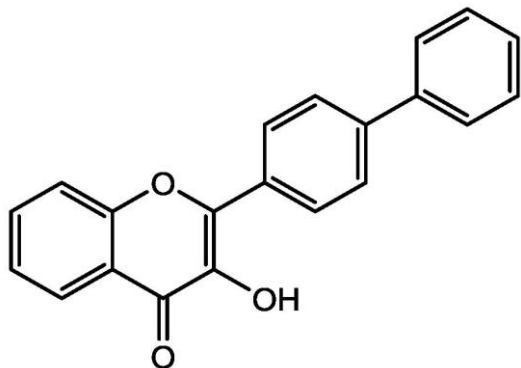


Рис. 1. Структурна формула 2-([1,1'-біфеніл]-4-іл)-3-гідрокси-4Н-хромен-4-ону (4'-феніл-3-гідроксифлавонон, 4'Ph-3HF).

Використання як активатора 2,0 мас. % 4'-феніл-3-гідроксифлавонону у складі ПС забезпечує більш високі значення світлового виходу і радіаційної стійкості порівняно з незаміщеним 3HF і деякими його похідними [11].

Відомо, що введення атомів фтору у положення 6, 7 та 8 молекул 3HF підвищує радіаційну стійкість ПС, в яких ці фторпохідні використовували як первинну люмінесцентну добавку [16]. Введення атомів фтору в молекулу 4'Ph-3HF має забезпечити підвищення радіаційної стійкості власне отриманих фторпохідних і, як наслідок, ще більше підвищити радіаційну стійкість сцинтиляційних композицій, в яких вони використовуються [14, 15]. Одночасне введення в структуру молекули 3HF у положення 4'-фенільного замісника та додаткових атомів фтору в поло-

ження 6, 7, 8 дасть змогу отримати нові сполуки – фторпохідні 4'Ph-3HF – з великим зсувом Стокса, що мають збільшену радіаційну стійкість.

У даній роботі отримано фторпохідних 4'Ph-3HF, що містять один або два атоми фтору у хроменовому фрагменті молекули. З новими активаторами створено ПС, досліджено їхні сцинтиляційні властивості та радіаційну стійкість.

## 2. Експериментальна частина

*Синтез фторпохідних 4'Ph-3HF.* Фторпохідні 4'Ph-3HF, що містять один або два атоми фтору у положенні 6, 7, 8 хроменового фрагмента молекули загальної формули 4 (рис. 2), синтезовані відомим способом, що включає взаємодію еквімолярних кількостей відповідних фторовмісних 2-оксіяцетофенонів (1) і 4-фенілбензальдегіду (2) у спиртовому середовищі в присутності лугу з подальшим виділенням отриманого халкону (3) та окиснення його пероксидом водню за реакцією Альгара - Флінна - Оямади [17], за такою схемою:

2-([1,1'-Біфеніл]-4-іл)-6-фтор-3-гідрокси-4Н-хромен-4-он, 6F-4'Ph-3HF (4a). До 1,5 г (0,0097 моль) 5-фтор-2-гідроксіяцетофенону і 1,87 г (0,0102 моль) 4-фенілбензальдегіда в 30 мл метанолу по краплях додають розчин 1,09 г (0,0194 моль) КОН в 15 мл метанолу і перемішують протягом 18 год при кімнатній температурі. Потім реакційну масу темно-червоного кольору виливають на воду, підкислену НСІ. Одержаний осад 6F-4'Ph-3HF збирають фільтрацією, промивають на фільтрі невеликою кількістю метанолу і води, ретельно віджимають і сушать при кімнатній температурі. Для очищення продукт хроматографують на силікагелі (елюент: гексан-бензол, 3:1). Вихід – 1,58 г, продукт жовтого кольору,  $T_{пл} = 149 - 151\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

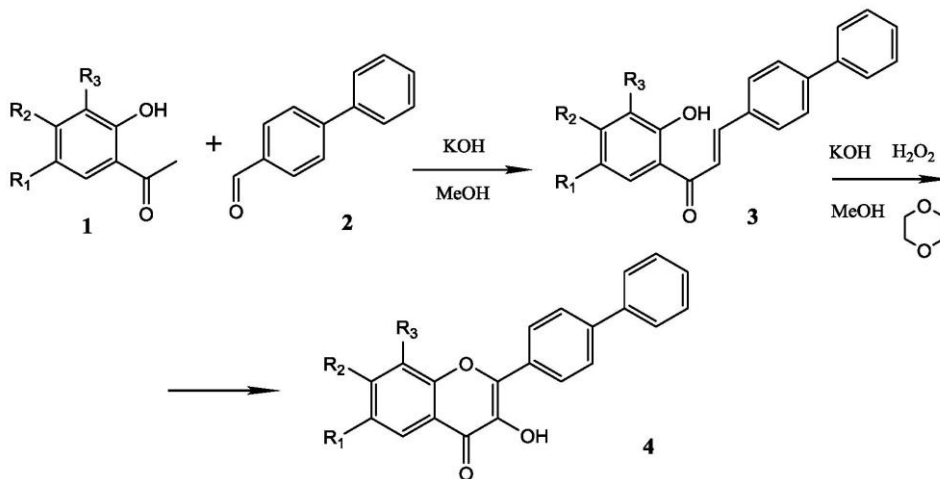


Рис. 2. Схема отримання фторпохідних 4'Ph-3HF, де 4a)  $R_1 = F$ ;  $R_2, R_3 = H$ , 4b)  $R_1, R_3 = F$ ;  $R_2 = H$ , 4c)  $R_1, R_2 = F$ ;  $R_3 = H$ .

Отриманий халкон розчиняють у суміші 50 мл метанолу, 15 мл діоксану і 0,5 г (0,0098 моль) КОН, потім у оранжево-червоний розчин повільно по краплях додають 3 мл  $H_2O_2$  (30 %) при температурі 5 - 10 °С. Суміш перемішують протягом 18 год при цій температурі, потім виливають у холодну воду та підкислюють HCl. Осад збирають фільтрацією, промивають водою, ретельно віджимають і сушать при кімнатній температурі. Для очищення продукт хроматографують на силікагелі (елюент: метиленхлорид-гексан, 2:1).

Вихід 6F-4'Ph-3HF (див. рис. 1, 4a) – 1,18 г (71,9 %), дрібнокристалічний продукт жовтуватого кольору,  $T_{пл} = 232 - 234$  °С. Елементний аналіз: розраховано для  $C_{21}H_{13}FO_3$  (%): С - 75,90; Н - 3,94; О - 14,4; знайдено (%): С - 75,40; Н - 3,90; О - 14,35. ЯМР:  $^1H$  NMR (400 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$  9,21 (s, 1H), 7,76 - 7,59 (m, 6H), 7,59 (dd,  $J = 8,0, 1,5$  Hz, 1H), 7,52 - 7,34 (m, 4H), 7,20 (ddd,  $J = 8,0, 7,5, 1,5$  Hz, 1H).

2-([1,1'-Біфеніл]-4-іл)-6,8-дифтор-3-гідрокси-4Н-хромен-4-он, 6,8DF-4'Ph-3HF (4b). Отримують аналогічно до 6F-4'Ph-3HF, як вихідний кетон використовують 3,5-дифтор-2-гідроксиацетофенон.

Вихід 6,8DF-4'Ph-3HF (див. рис. 2, 4b) – 42,7 %, дрібнокристалічний продукт блідожовтого кольору,  $T_{пл} = 208 - 210$  °С. Елементний аналіз: розраховано для  $C_{21}H_{12}F_2O_3$  (%): С - 72,00; Н - 3,45; О - 13,70; знайдено (%): С - 71,85; Н - 3,41; О - 13,72. ЯМР:  $^1H$  NMR (400 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$  9,14 (s, 1H), 7,77 - 7,61 (m, 6H), 7,52 - 7,34 (m, 4H), 7,04 (td,  $J = 8,0, 1,5$  Hz, 1H).

2-([1,1'-Біфеніл]-4-іл)-6,7-дифтор-3-гідрокси-4Н-хромен-4-он, 6,7DF-4'Ph-3HF (4c). Отримують аналогічно до 6F-4'Ph-3HF, як вихідний кетон використовують 4,5-дифтор-2-гідроксиацетофенон.

Вихід 6,7DF-4'Ph-3HF (див. рис. 2, 4c) – 47,1 %, дрібнокристалічний продукт блідожовтого кольору,  $T_{пл} = 226 - 228$  °С. Елементний аналіз: розраховано для  $C_{21}H_{12}F_2O_3$  (%): С - 72,00; Н - 3,45; О - 13,70; знайдено (%): С - 71,94; Н - 3,46; О - 13,68. ЯМР:  $^1H$  NMR (400 MHz, DMSO- $d_6$ )  $\delta$  9,26 (s, 1H), 7,80 - 7,59 (m, 7H), 7,52 - 7,43 (m, 2H), 7,43 - 7,34 (m, 1H), 7,15 (dd,  $J = 8,0, 5,0$  Hz, 1H).

Отримання ПС з фторпохідними 4'Ph-3HF. Синтезовані фторпохідні 4'Ph-3HF загальної формули 4 (див. рис. 2) використовували як активатори ПС на основі полістиролу. Для цього 1,0 мас. % активатора завантажували у скляну ампулу та заливали відповідною кількістю попередньо перегнаного стирулу. Приготовану реак-

ційну суміш збовтували при температурі 100 °С до повного розчинення добавки. Для видалення слідів кисню реакційну суміш продували аргонном протягом 15 хв, ампули запаювали і встановлювали в термостат, розігрітий до 150 °С. Полімеризацію проводили протягом 120 год. Після цього ампулу виймали з термостату, охолоджували до кімнатної температури, розбивали та витягали заготовку ПС. З отриманої заготовки вирізали зразки ПС у вигляді полірованих циліндрів діаметром 16 мм та висотою 10 мм.

Спектри ядерного магнітного резонансу виміряно на спектрофотометрі VARIAN MR-400 (400 МГц) у розчинах ДМСО- $d_6$ , внутрішній стандарт – тетраметилсилан.

Спектри поглинання речовин у толуолі отримано на спектрофотометрі Perkin Elmer Lambda 35 UV/VIS при концентрації  $10^{-5}$  моль/л.

Спектри люмінесценції отримано на спектрофлуориметрі HORIBA Jobin Yvon FluoroMax-4 при кімнатній температурі.

Світловий вихід отриманих ПС виміряно на сцинтиляційному спектрометрі, виконаному в стандарті САМАС. Сигнал від анода фотоелектронного помножувача (ФЕП) Hamamatsu R1307 подавався безпосередньо на вхід цифрового перетворювача заряду QDC LeCroy 2249A. Світловий вихід ПС визначався по піку моноенергетичних електронів з енергією 975 кеВ від радіоізотопного джерела електронів Bi-207. Величину відносного світлового виходу зразків ПС визначено відносно світлового виходу стандартного ПС типу UPS-923A [18].

Для визначення радіаційної стійкості зразки ПС опромінювали на лінійному прискорювачі ЛУ-40 з енергією електронів 40 МеВ [19] (Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України). Інтегральна доза опромінення для всіх зразків становила 150 кГр. Вимірювання світлового виходу ПС проводили відразу після опромінення.

### 3. Результати та обговорення

Молекули 4'Ph-3HF (див. рис. 1) мають великий зсув Стокса – максимум їхнього поглинання лежить в області 356 нм, а максимум люмінесценції розташовується на довжині хвилі близько 546 нм (рис. 3, табл. 1). Це дає можливість уникати поглинання власного випромінювання сцинтилятора продуктами радіолізу, що утворюються під дією іонізуючого випромінювання.

Уведення одного чи двох атомів фтору практично не впливає на характер і положення максимумів поглинання та люмінесценції фторпохідних порівняно з незаміщеним 4'Ph-3HF. У

табл. 1 наведено спектрально-люмінесцентні характеристики отриманих фторпохідних 4'Ph-3HF. Максимуми поглинання отриманих

фторпохідних лежать в області 360 нм, а максимуми люмінесценції залишилися близько 550 нм.

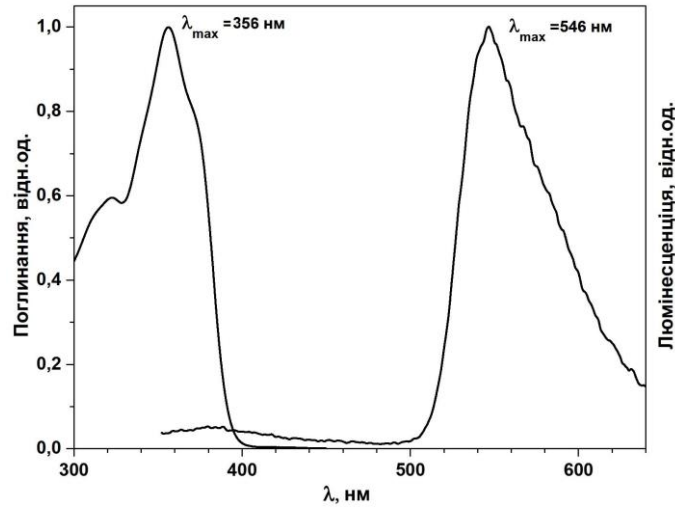
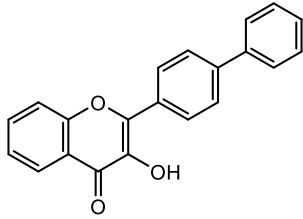
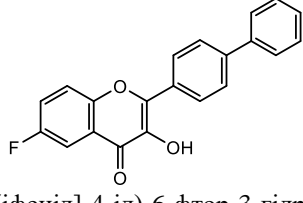
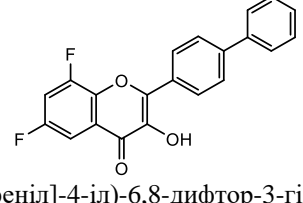
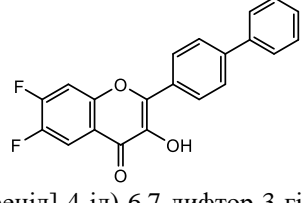


Рис. 3. Спектр поглинання та люмінесценції 4'Ph-3HF у толуолі ( $10^{-5}$  моль/л).

Таблиця 1. Спектрально-люмінесцентні характеристики фторпохідних 4'Ph-3HF

№	Сполука	T <sub>пл</sub> , °C	Спектральні характеристики в толуолі ( $10^{-5}$ моль/л)	
			Максимум поглинання, нм	Максимум люмінесценції, нм
—	 2-([1,1'-біфеніл]-4-іл)-3-гідрокси-4H-хромен-4-он або 4'-феніл-3-гідроксифлавону, 4'Ph-3HF	222 - 224 [8]	356	546
4a	 2-([1,1'-біфеніл]-4-іл)-6-фтор-3-гідрокси-4H-хромен-4-он, F-4'Ph-3HF	232 - 234	360	548
4b	 2-([1,1'-біфеніл]-4-іл)-6,8-дифтор-3-гідрокси-4H-хромен-4-он, 6,8DF-4'Ph-3HF	208 - 210	360	549
4c	 2-([1,1'-біфеніл]-4-іл)-6,7-дифтор-3-гідрокси-4H-хромен-4-он, 6,7DF-4'Ph-3HF	226 - 228	356	547

Фторпохідні 4'Ph-3HF було використано для отримання зразків радіаційно стійких ПС. Концентрація активатора становила 1,0 мас. %. При більш високій концентрації можливо випадіння осаду добавки внаслідок її відносно низької розчинності в полістиролі. При меншій концентрації добавки її кількості не вистачає для ефективного перетворення енергії збудження полімерної основи в сцинтиляційний сигнал, що призводить до падіння світлового виходу і суттєвого зменшення ефективності сцинтилятора. Досліджено

спектрально-люмінесцентні та сцинтиляційні властивості отриманих ПС, визначено рівень їхньої радіаційної стійкості.

Відносний світловий вихід одержаних ПС знаходився в діапазоні від 22 до 33 % світлового виходу стандартного ПС з п-терфенілом UPS-923A [18] (рис. 4). Максимальний світловий вихід за концентрації добавки 1,0 мас. % досягався для незаміщеного 4'Ph-3HF та становив 33 %.

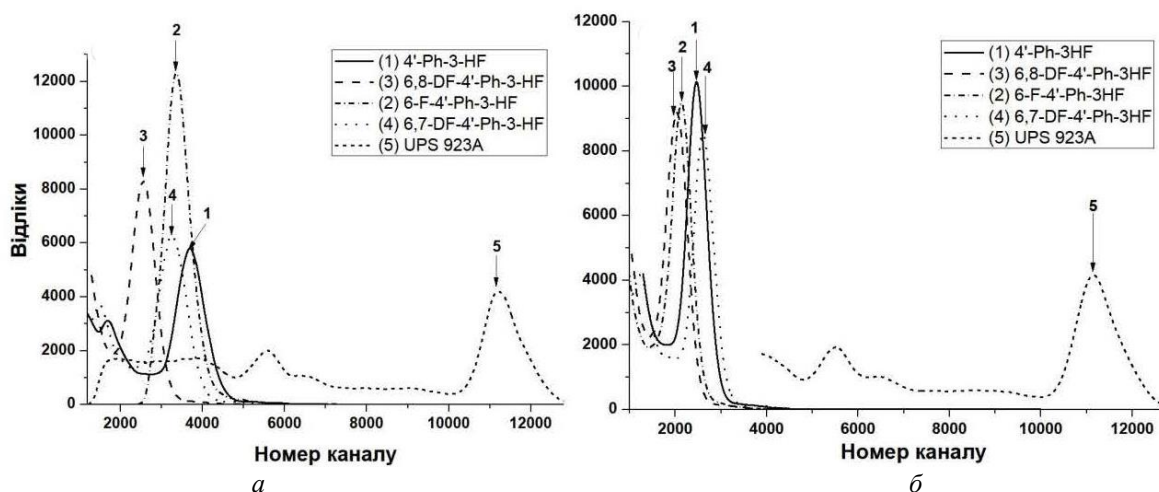


Рис. 4. Амплітудно-сцинтиляційні спектри ПС з фторпохідними 4'Ph-3HF до (а) та після (б) опромінення дозою 150 кГр.

Для характеристики величини радіаційної стійкості ПС у літературі зазвичай використовується відношення світлового виходу, виміряного відразу після опромінення ПС ( $L$ ) та неопроміненого ПС ( $L_0$ ), тобто  $L/L_0$ . При цьому різні автори використовують різні дози опромінення та зразки ПС різної форми. Тому для коректного порівняння величин радіаційної стійкості ПС, отриманих з різних джерел, зручніше використовувати дозу половинного ослаблення світлового виходу ( $D_{1/2}$ , кГр), яка не залежить від дози опромінення і може бути розрахована, якщо відомо значення  $L/L_0$  і доза опромінення [5]:

$$L = L_0 \exp(\alpha D), \quad (1)$$

де  $L_0$  та  $L$  – світловий вихід зразка ПС відповідно до та після опромінення;  $\alpha$  – константа деградації (кГр<sup>-1</sup>);  $D$  – доза опромінення (кГр).

Оскільки доза половинного ослаблення світлового виходу  $D_{1/2}$  визначається при  $L/L_0 = 1/2$ , тому з формули (1) отримуємо:

$$D_{1/2} = (\ln 2) / \alpha. \quad (2)$$

Значення константи деградації  $\alpha$  розраховується з експериментальних даних, виходячи з формули (1).

Отже, у даній роботі під числовим значенням, що характеризує радіаційну стійкість мається на увазі саме доза половинного ослаблення світлового виходу  $D_{1/2}$ .

Відносний світловий вихід вимірювався за допомогою ФЕП Hamamatsu R1307, максимум чутливості якого знаходиться в області 420 нм, що відповідає довжині хвилі сцинтиляції стандартного ПС. Максимум люмінесценції ПС із фторпохідними 4'Ph-3HF розташований на довжині хвилі 550 нм. У цій області чутливість ФЕП більше, ніж удвічі нижча, ніж в області 420 нм. Враховуючи це, можна говорити, що абсолютний світловий вихід отриманих ПС знаходиться на рівні світлового виходу стандартного ПС.

З отриманих даних видно, що нові склади ПС демонструють більш високу радіаційну стійкість порівняно з ПС, в якому як активатор використано незаміщений 4'Ph-3HF (табл. 2). Заміна водню атомами фтору в молекулах 4'Ph-3HF призводить до підвищення радіаційної стійкості активованими ними ПС. Уведення одного атома фтору підвищує радіаційну стійкість лише на кілька десятків кілогрей. У випадку ж заміщення двох атомів водню на фтор у положенні 6,7 або 6,8 хроменого фрагмента молекули 4'Ph-3HF радіаційна стійкість ПС підвищується в два рази. У ПС, що містить 1,0 мас. % 6,8DF-4'Ph-3HF, доза половинного ослаблення світлового виходу становить 490 кГр.

Таблиця 2. Відносний світловий вихід до та після опромінення дозою 150 кГр та доза половинного ослаблення світлового виходу ПС з фторпохідними 4'Ph-3HF

Зразок ПС з фторпохідним 4'Ph-3HF	Відносний світловий вихід до опромінення ( $L_0$ ), %	Відносний світловий вихід після опромінення дозою 150 кГр ( $L$ ), %	$D_{1/2}$ , кГр
4'Ph-3HF	33,2	21,2	233
6F-4'Ph-3HF	30,0	20,3	263
6,8DF-4'Ph-3HF	22,6	18,3	491
6,7DF-4'Ph-3HF	29,0	23,4	472
UPS923A	100	–	–

#### 4. Висновки

Отримано радіаційно стійкі активатори ПС – фторпохідні 4'Ph-3HF, що містять один або два атоми фтору у положення 6, 7, 8 хроменового фрагмента. Уведення атомів фтору не призвело до суттєвих змін спектральних властивостей фторпохідних порівняно з незаміщеним 4'Ph-3HF: максимуми поглинання лежать в області 360 нм, а

максимуми люмінесценції залишаються близько 550 нм. Використання фторпохідних 4'Ph-3HF як активаторів полістирольної матриці дає змогу отримати ПС, радіаційна стійкість яких становить 490 кГр. Цей результат дасть можливість суттєво подовжити термін служби ПС за умов високого рівня дозових навантажень.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- J.F. Leavy et al. Upset due to a single particle caused propagated transient in a bulk CMOS microprocessor. *IEEE Transactions on Nuclear Science* 38(6) (1991) 1493.
- S. Chatrchyan et al. CMS Collaboration. The CMS experiment at the CERN Large Hadron Collider. *Journal of Instrumentation* 3 (2008) S08004.
- A.A. Alves Jr. et al. LHCb Collaboration. The LHCb Detector at the LHC. *Journal of Instrumentation* 3 (2008) S08005.
- L. Bartoszek et al. Mu2e technical design report. Fermilab-TM-2594. Fermilab-DESIGN-2014-1 (2015) 888. [arXiv:1501.05241 \[physics.ins-det\]](https://arxiv.org/abs/1501.05241).
- J.B. Birks. *The Theory and Practice of Scintillation Counting* (London: Pergamon Press, 1964) 664 p.
- V.G. Senchishin et al. Radiation resistance investigation of SCSN-81T, BC-408, UPS923A and UPS98RH plastic scintillators. *Functional Materials* 10(2) (2003) 281.
- V. G. Senchishin et al. A new radiation stable plastic scintillator. *Nucl. Instrum. Methods A* 364(2) (1995) 253.
- В.Г. Сенчишин и др. Новый радиационно-стойкий пластмассовый сцинтиллятор UPS-98RH для адронных калориметров. *Вопросы атомной науки и техники* 3 (2005) 160. / V.G. Senchysyn et al. New radiation hard plastic scintillator UPS-98RH for hadron calorimeters. *Problems of Atomic Science and Technology* 3 (2005) 160. (Rus)
- A.D. Bross, A. Pla-Dalmau. Radiation induced hidden absorption effects in polystyrene based plastic scintillators. In: *Radiation Effects on Polymers*. Chapter 37. *ACS Symp. Ser.* 475 (1991) 578.
- A.D. Bross, A. Pla-Dalmau. Radiation effects in intrinsic 3HF scintillator. *Nucl. Instrum. Methods A* 327 (1993) 337.
- Yu.A. Gurkalenko et al. Radiation-hard plastic scintillators with 3-hydroxyflavone derivatives. *Functional Materials* 23(1) (2016) 40.
- G.I. Britvich et al. Radiation damage studies on polystyrene-based scintillators. *Nucl. Instrum. Methods A* 326(3) (1993) 483.
- J.B. Schlenoff, J. Dharia, K.F. Johnson. Low self-absorbing, intrinsically scintillating polymers. Patent WO199322306A1, C08L25/18. Publication on 11.11.1993.
- C. Zorn et al. Pilot study of new radiation-resistant plastic scintillators doped with 3-hydroxyflavone. *Nucl. Instrum. Methods A* 273(1) (1988) 108.
- A.D. Bross, A. Pla-Dalmau, C.W. Spangler. New fluorescent compounds for plastic scintillator applications. *Nucl. Instrum. Methods A* 325 (1993) 168.
- Yu.A. Gurkalenko et al. Enhance of the polystyrene based plastic scintillator radiation hardness; using fluorine-derivatives of 3-hydroxyflavone. *Functional Materials* 25(4) (2018) 670.
- B.S. Jayashree et al. Synthesis of substituted 3-hydroxy flavones for antioxidant and antimicrobial activity. *Pharmacologyonline* 3 (2008) 586.
- Б.В. Гриньов, В.Г. Сенчишин. *Пластмасові сцинтилятори* (Харків: Акта, 2003) 324 с. / B.V. Hrynyov, V.G. Senchysyn. *Plastic Scintillators* (Kharkiv: Akta, 2003) 324 p. (Ukr)
- M.I. Aizatskyi et al. State and prospects of the linac of nuclear-physics complex with energy of electrons up to 100 MeV. *Problems of Atomic Science and Technology* 91(3) (2014) 60.

**D. A. Yelisieiev<sup>1</sup>, O. V. Yelisieieva<sup>1,\*</sup>, Yu. O. Hurkalenko<sup>1</sup>,  
P. M. Zhmurin<sup>1</sup>, V. D. Alekseev<sup>1</sup>, R. P. Svoiakov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Scintillation Materials, STC «Institute for Single Crystals»,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*Institute for Functional Materials Chemistry, STC «Institute for Single Crystals»,  
National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine*

\*Corresponding author: [osvidlo@i.ua](mailto:osvidlo@i.ua)

### **RADIATION-RESISTANT PLASTIC SCINTILLATORS**

Fluorinated derivatives of 4'-phenyl-3-hydroxyflavone have been synthesized and used as activators for radiation-resistant plastic scintillators based on polystyrene. Plastic scintillators containing 1.0 wt. % of the corresponding activators were created. The spectral-luminescent and scintillation properties of the obtained materials were studied, and their radiation resistance was determined. It was shown that the use of fluorinated derivatives of 4'-phenyl-3-hydroxyflavone enables the production of plastic scintillators with radiation resistance at the level of 490 kGy.

*Keywords:* 4'-phenyl-3-hydroxyflavone, activator, plastic scintillator, light yield, radiation hardness.

Надійшла / Received 11.09.2024