

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

1809/2-80

21/4-80  
13-80-21

С.В.Рихвицкий, Л.Я.Жильцова, Е.Н.Матвеева,  
Ю.А.Панебратцев, В.С.Ставинский

ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
БЫСТРОЙ КОМПОНЕНТЫ ФЛУОРЕСЦЕНЦИИ  
ПЛАСТМАССОВЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Направлено в "Nuclear Instruments and Methods"

1980

Рихвицкий С.В. и др.

13-80-21

Измерение временных характеристик быстрой компоненты флуоресценции пластмассовых сцинтилляторов

Измерены временные характеристики быстрой компоненты флуоресценции пяти видов пластмассовых сцинтилляторов на основе полистирола. Описан спектрометр с тремя счетчиками в телескопе, работающий в однофотонном режиме.

Экспериментально получена постоянная времени нарастающего светового импульса сцинтиллятора с добавкой РВД - 60 пс, а с добавкой р-терфенил и РОРОР - 800 пс.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1980

Richvitsky S.V. et al.

13-80-21

Measurement of Timing Properties of the Fluorescent Fast Component from Plastic Scintillators

The measurement is described of timing properties of the fluorescence fast component for five types of polystyrene scintillators. The description is presented of a spectrometer with three counters in a telescope which operates using the single photon method. The measurements have been

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последние годы проводились интенсивные исследования<sup>/1/</sup> свойств пластмассовых сцинтилляторов (ПС) с целью уточнения характеристик, влияющих на точность исследований в ядерной физике, в частности, на временное разрешение при измерениях методом времени пролета. Анализ, выполненный Акимовым и др.<sup>/2/</sup>, показал, что переход к сцинтилляторам с малыми постоянными времени нарастания дает существенное улучшение разрешающего времени спектрометров по времени пролета.

Передача энергии в ПС изучена мало, и большинство исследований основано на использовании функции высвечивания, выведенной Бирксом<sup>/3/</sup> для жидких сцинтилляторов, которая в первом приближении применима и к пластмассовым. Интенсивность испускания фотонов  $n(t)$  в фотонах/с двухуровневой системы (рис. 1) при условии, что переход из возбужденного состояния с временем жизни  $\tau_1$  в промежуточное не регистрируется аппаратурой, определяется соотношением

$$n(t) = \frac{N}{\tau_2 - \tau_1} (e^{-t/\tau_2} - e^{-t/\tau_1}), \quad (1)$$

где  $N$  - полное число фотонов,  $\tau_2$  - время жизни промежуточного уровня (время высвечивания).

Наблюдаемая зависимость интенсивности свечения от времени, как известно, выражается интегралом свертки

$$I(t) = \int_{-t}^{\infty} \phi(\xi) n(t - \xi) d\xi, \quad (2)$$

где  $\phi(\xi)$  - функция временного разрешения аппаратуры, которая в нашем случае описывается нормальным распределением с дисперсией  $\sigma^2$



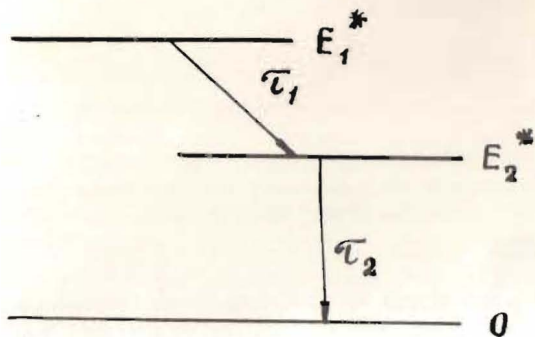


Рис.1. Схема распада возбужденного состояния двух-уровневой системы.

$$\phi(\xi) = \frac{e^{-\xi^2/2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi}\sigma} \quad (3)$$

Ниже описан спектрометр для исследования процессов преобразования энергии в сцинтилляторе, начиная с момента попадания заряженной частицы в телескоп, а также приведен метод обработки гистограмм спектрометра и результаты измерения временных характеристик  $\tau_1$  и  $\tau_2$  для пяти видов ПС.

## 2. СПЕКТРОМЕТР

В соответствии с задачей исследования процессов преобразования энергии в сцинтилляторе разработан спектрометр, в основу которого положен однофотонный метод <sup>15/</sup>, отличающийся от известных приборов, применяемых для этой цели, тем, что телескоп его состоит из трех счетчиков, один из которых - черенковский, а два других - сцинтилляционные. В состав спектрометра входит система быстрой электроники в стандарте КАМАК <sup>16/</sup> и многоканальный амплитудный анализатор. Гистограммы спектрометра поступали на ЭВМ для обработки OFF LINE и определения истинных временных

характеристик исследуемых образцов. На рис. 2 приведена блок-схема спектрометра, на рис. 3 - схема конструкции телескопа.

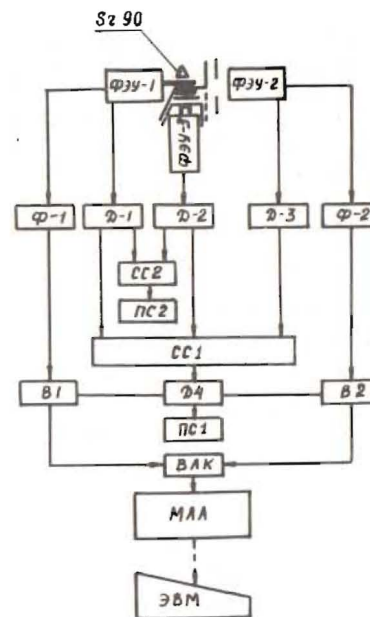


Рис. 2. Блок-схема спектрометра. ФЭУ1-ФЭУ3 - телескоп ХР1020; Ф1 и Ф2 - формирователи 2ФСР1; Д1-Д4 - дискриминаторы; СС1 и СС2 - схемы совпадений; ПС1 и ПС2 - пересчетные схемы; В1 и В2 - линейные ворота; ВАК - конвертор время-амплитудный; МАА - многоканальный амплитудный анализатор.

Телескоп облучался источником бета-частиц "Стронций-90" с максимальной энергией электронов 2,26 МэВ. Под источником расположен радиатор Вавилова-Черенкова из оптического стекла размером 3x50x50 мм<sup>3</sup>, свет от которого через световод попадал на катод первого базового фотоумножителя. При опущенном экране (6) черенковское излучение попадало также на катод второго базового фотоумножителя через ирисовую диафрагму.

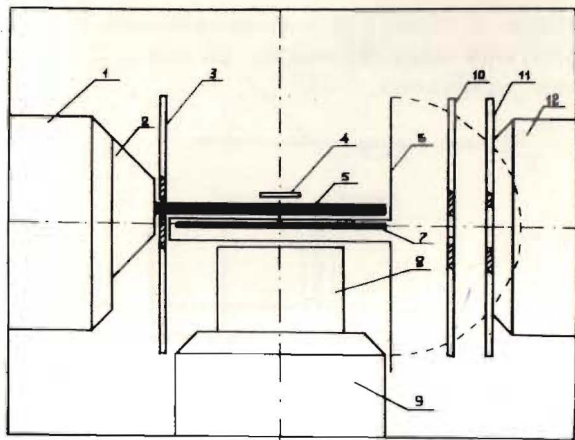


Рис. 3. Конструкция телескопа. 1, 9 и 12 - фотоумножители XP1020, 2 - световод, 3 и 6 - черный экран, 4 - бета-источник, 5 - черенковский радиатор, 7 - исследуемый сцинтиллятор, 8 - сцинтиллятор мониторингового счетчика, 10 - диафрагма ирисовая, 11 - диафрагма.

Первый фотоумножитель задавал начало отсчета времени, второй регистрировал момент появления одиночных фотонов. При поднятом экране излучение из тонкой грани исследуемого сцинтиллятора попадало на второй фотоумножитель, который и в этом случае регистрировал одиночные фотоны. Таким образом, оба базовых счетчика работали как в первом случае, когда регистрировали эталонное временное распределение, так и во втором, когда регистрировалось распределение от исследуемого образца, - в одинаковых условиях. В результате точность воспроизведения измерений повысилась. Под исследуемым сцинтиллятором помещались алюминиевые поглотители для исключения мягкой части спектра источника.

Третий счетчик - мониторинговый, он задавал апертуру телескопа и регистрировал жесткую часть спектра источника. Включение мониторингового счетчика показано на рис. 2. В спектрометре использованы фотоумножители типа XP1020 и формирователи типа 2ФСП<sup>17/</sup>.

Все фотоумножители были настроены на оптимальный временной режим, который сохранялся при относительных измерениях различных образцов.

### 3. НАСТРОЙКА СЧЕТЧИКА ФОТОНОВ

Настройка счетчика фотонов на однофотонный режим производилась следующим образом. Перед фотокатодом были помещены световой диод, питаемый от генератора коротких импульсов, и два поляроида. Импульсы от фотоумножителя поступали на линейные ворота и далее - на многоканальный амплитудный анализатор. Линейные ворота открывались генератором через формирователь. Для питания фотоумножителя подбиралось такое напряжение, при котором максимум амплитудного спектра не смешался по показаниям амплитудного анализатора. Другими словами, положение максимума спектра не зависело от напряжения питания ФЭУ.

На рис. 4 показаны три амплитудных спектра, снятых за одинаковое время. Первый соответствует максимальной интенсивности света, поступающего от светодиода через поляриды на фотокатод (100%), второй -

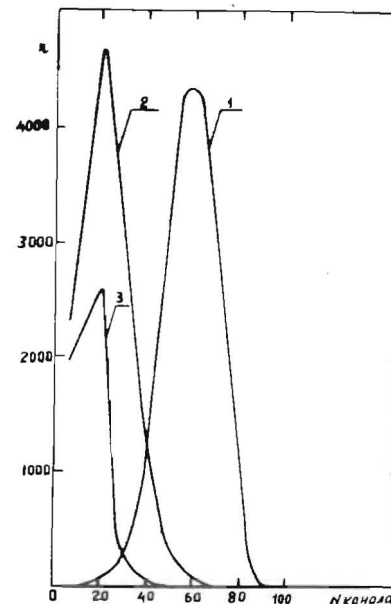


Рис. 4. Амплитудные спектры счетчика фотонов. 1 - многофотонный, 2 - промежуточный, 3 - однофотонный.

25% и третий - 6%. Из рисунка видно, что первый спектр соответствует многофотонному режиму, второй - промежуточному, а третий - однофотонному.

При работе спектрометра в однофотонном режиме использовалась ирисовая диафрагма, с помощью которой исследуемое излучение ослаблялось так, чтобы на каждые 50-100 световых импульсов во втором фотоумножителе регистрировался только один. Такое ослабление излучения необходимо для того, чтобы поддерживать вероятность регистрации двух или более фотоэлектронов в одном световом импульсе на пренебрежимо малом уровне.

#### 4. ОБРАЗЦЫ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ

Для исследования временных характеристик были выбраны три группы ПС на основе полистирола. В первую группу вошли сцинтилляторы, содержащие только первичные люминесцирующие добавки - РВД и *p*-терфенил, во вторую - только вторичные - РОРОР и ТРВ, в третью - первичные и вторичные - *p*-терфенил + РОРОР. Концентрация этих добавок приведена ниже.

Образцы представляли собой пластинки размером 1 x 50 x 50 мм<sup>3</sup> с полированными поверхностями. Все поверхности, кроме обращенной в сторону счетчика фотонов, были зачернены.

Данное исследование является продолжением работы<sup>/8/</sup>, в которой показано, что сцинтиллятор с добавкой РВД в полистироле обладает весьма коротким временем высвечивания.

#### 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Для получения временных характеристик  $\tau_1$  и  $\tau_2$  быстрой компоненты флуоресценции ПС - постоянных нарастания и времени высвечивания, использовалась на ЭВМ программа поиска максимума функции правдоподобия методом линеаризации - FUMILI<sup>/9/</sup> по гистограммам спектрометра.

Экспериментальные данные сравнивались с зависимостью интенсивности свечения от времени (2). Результаты наших измерений и опубликованные в работах<sup>/4/ и /10/</sup> показаны в таблице.

Таблица

Временные характеристики и световой выход сцинтилляторов: РВД - 2-фенил-5(4-бифенилил) 1,3,4 оксадиазол; ТР - пара-терфенил; РОРОР - 1,4-ди-/2-(5-фенилоксазолил)/-бензол; ТРВ - 1,1',4,4'-тетрафенилбутадие-1,3

Сцинтиллятор	Постоянная времени нарастания, ПС, $\tau_1$	Время высвечивания, нс, $\tau_2$	Критерий согласия $\chi^2$	Световой выход %	Данные, приведенные в работах [4] и [10]
РВД 3,5%	59 ± 5	1,402 ± 0,018	1,53	100	-
ТР 2,0%	75 ± 1	1,745 ± 0,005	0,97	73	-
РОРОР 1,0%	222 ± 9	4,217 ± 0,119	1,68	40	$\tau_2$ - 5нс /4/
ТРВ 0,5%	120 ± 6	5,481 ± 0,110	1,78	88	$\tau_1$ - 0,65нс
ТР 2% + РОРОР 0,02%	786 ± 69	2,320 ± 0,156	1,62	115	$\tau_2$ - 2,5нс /10/

Световой выход сцинтилляторов относительно первого образца в таблице измерен при помощи измерительной головки амплитудного анализатора, содержащей фотоумножитель 150 АВП и интегратор, амплитуда от которого пропорциональна площади импульса.

Эталонное временное распределение функции разрешения аппаратуры также обрабатывалось на ЭВМ. Аппроксимация его функцией Гаусса получена с критерием согласия  $\chi^2 = 1,25$  на степень свободы. Стандартное отклонение нормального распределения составляло 0,425 ± 0,005 нс (ошибка здесь и далее - статистическая). Положение оси функции Гаусса определялось настройкой спектрометра на черенковском излучении и задавало начало отсчета времени.

Типичные временные спектры, наблюдаемые в однофотонном режиме спектрометра, показаны на рис. 5а.

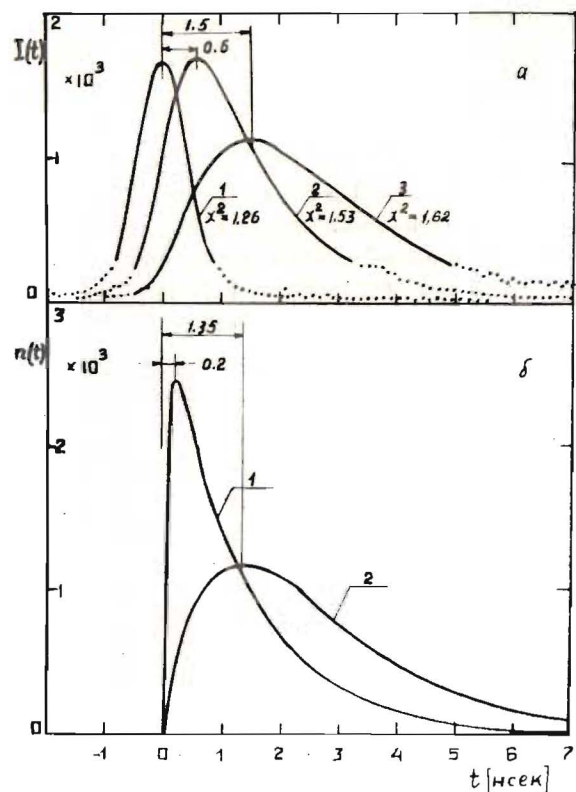


Рис. 5. Типичные временные спектры. а - спектры, наблюдаемые в однофотонном режиме спектрометра: 1 - аппаратная функция, 2 - ПС с РВД, 3 - ПС с р-терфенилом+РОРОР. б - спектры флуоресценции, построенные по формуле (1): 1 - ПС с РВД, 2 - ПС с р-терфенилом+ РОРОР.

Аппаратурная функция и спектры сцинтилляторов показаны сплошными линиями в тех областях, где экспериментальные данные хорошо аппроксимируются соответствующими формулами. Точками показаны области спектров, которые в данной работе не исследовались. Медленная компонента не учитывалась.

Спектры флуоресценции, построенные по формуле (1), приведены на рис. 5б, из которого видно, что амплиту-

да флуоресценции у сцинтиллятора с добавкой РВД примерно в два раза больше, чем у сцинтиллятора с добавками р-терфенила и РОРОР, несмотря на то, что световой выход второго на 15% больше, чем у первого.

Авторы выражают благодарность за интерес к данной работе и полезные дискуссии И.А.Голутвину, М.Пенця, А.А.Повторейко, М.Д.Шаfranову, Л.Н.Барабаш.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Moszynski M., Bengtson B. Nucl.Instr. and Meth., 1979, 158, p.1.
2. Akimov Yu.K., Medved S.V. Nucl.Instr. and Meth., 1970, 78, p.151.
3. Birks J.V., Dyson D.J., Munro I.H. Proc. R.Soc., 1963, A275, p.575.
4. Swank R.K. Nucleonics, 1954, 12, p.14.
5. Биркс Дж., Манро И. УФН, 1971, 105, с.251.
6. Басиладзе С.Г. и др. ОИЯИ, 13-6383, Дубна, 1972.
7. Басиладзе С.Г., Тлачала В. ОИЯИ, 13-6852, Дубна, 1972.
8. Жильцова Л.Я., Матвеева Е.Н., Рихвицкий С.В. ОИЯИ, 12-12238, Дубна, 1979.
9. Библиотека программ на фортране. Д-520 (И.Н.Силин, том 1, ОИЯИ, Б1-11-5144, Дубна, 1970.
10. Акимов Ю.К. и др. Быстродействующая электроника, Атомиздат, М., 1970.

Рукопись поступила в издательский отдел  
9 января 1980 года.