

P10-2015-63

В. Б. Злоказов, В. А. Морозов, Н. В. Морозова

**ПРОГРАММА VMRIA ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВРЕМЕНИ ВЫСВЕЧИВАНИЯ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ
ПРИ ОБРАБОТКЕ 3D ($E-T-N$)-РАСПРЕДЕЛЕНИЙ**

Злоказов В. Б., Морозов В. А., Морозова Н. В.

P10-2015-63

Программа VMRIA для определения времени высвечивания
сцинтилляторов при обработке 3D ($E-T-N$)-распределений

Представлена программа определения времени высвечивания сцинтилляторов с использованием автокорреляционного временного спектрометра задержанных совпадений. Приведен результат измерения времени высвечивания сцинтиллятора LaBr3:Ce — $\tau = 22,5(2)$ нс.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2015

Zlokazov V. B., Morozov V. A., Morozova N. V.

P10-2015-63

VMRIA — Program for Definition of the Scintillator Decay Times
at Processing 3D ($E-T-N$) Distributions

The program of determination of the scintillator decay time with use of an autocorrelated time spectrometer is submitted. The result of measurement of the LaBr3:Ce decay time is given — $\tau = 22.5(2)$ ns.

The investigation has been performed at the Dzhelepov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2015

Данная работа связана с созданием нового метода определения времени высвечивания сцинтилляторов в области от нескольких наносекунд до микросекунд. Для решения этой задачи был применен автокорреляционный метод задержанных совпадений [1] с использованием одного фотодетектора и стандартного комплекта наносекундной электроники (рис. 1). Основные элементы временного спектрометра включали в себя фотоумножитель XP2020, работающий в токовом режиме, дискриминатор CANBERRA-2126, время-амплитудный конвертер ТРНС-467. Принцип реализации этого метода заключается в регистрации временных интервалов, соответствующих определенным энергиям и определяемых разностью времени возбуждения сцинтиллятора и временем регистрации первого одиночного импульса, появляющегося после окончания процесса наложения одноэлектронных импульсов в начальный момент регистрации в соответствии с экспоненциальным распадом возбужденных состояний центров люминесценции исследуемых сцинтилляторов. Детальное описание метода определения времени высвечивания сцинтиллятора автокорреляционным способом представлено в работе [2].

Определение времени высвечивания сцинтилляторов при использовании автокорреляционного метода решается переходом от одномерного анализа изменения скорости счета задержанных совпадений во времени к двумерному анализу ($E-T$)-распределений. Задача заключается только в выделении

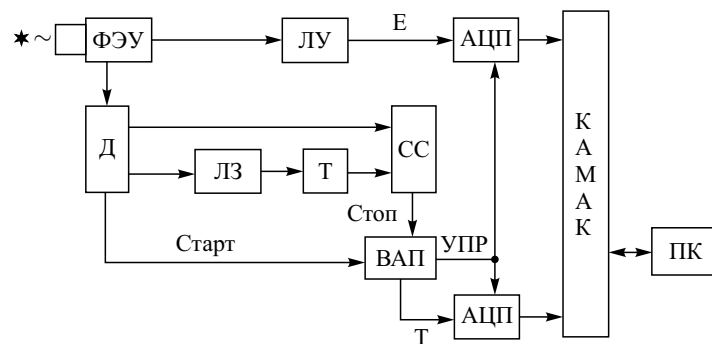


Рис. 1. Блок-схема автокорреляционного однокристалльного временного спектрометра.
 $R1 = 100 \text{ кОм}$, $R2 = 50 \text{ Ом}$

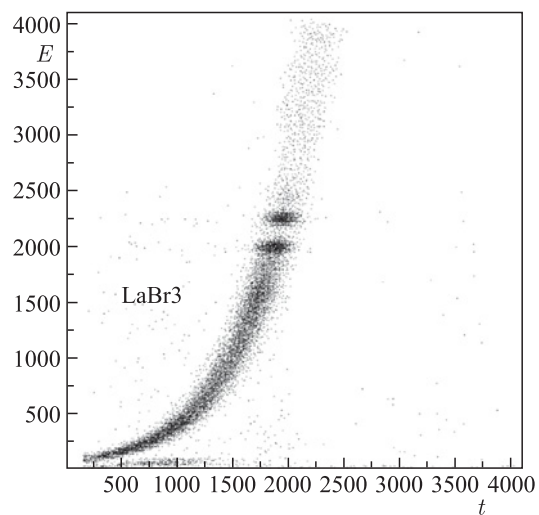


Рис. 2. 3D ($E-T-N$)-распределение, полученное при определении времени высвечивания сцинтиллятора $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ при его возбуждении источником ^{60}Co

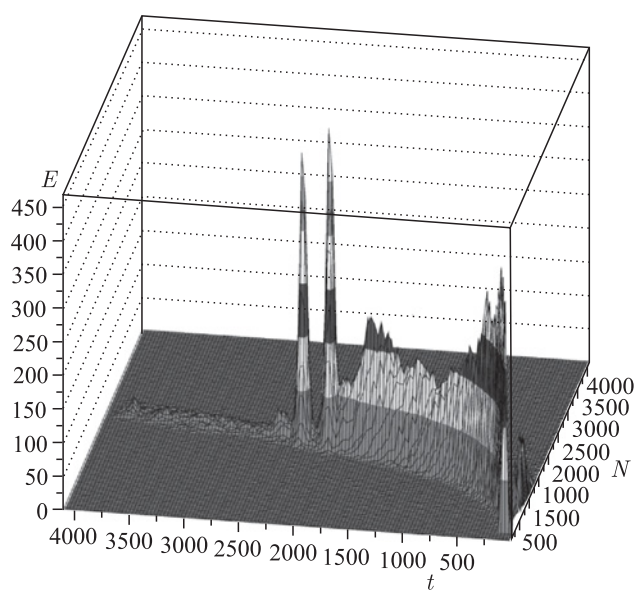


Рис. 3. 2D ($E-T$)-распределение, сформированное из трехмерной матрицы

на временной шкале участков, соответствующих регистрации одноэлектронных событий после прекращения блокировки дискриминатора из-за увеличения длительности импульсов вследствие наложения одноэлектронных импульсов, и осуществлении перехода от анализа временных распределений типа $N(t) = N_0 \exp(-t/\tau)$ к анализу распределений $E(t) = E_0 \exp(t/\tau)$, где τ — время высвечивания сцинтиллятора. Задача вычисления времени высвечивания сцинтиллятора сводилась к трансформации 3D ($E-T-N$)-матрицы, где N — число отсчетов в каждом бине (рис. 2), в 2D ($E-T$)-матрицу (рис. 3).

Проблема определения времени высвечивания сцинтиллятора решается построением свертки распределений:

$$u(E) = \sum_t^n s(t, E)t/N,$$

$$E(t) = \sum_{E=1}^n s(t, E)E/N,$$

где N — общий интеграл распределения (сумма всех событий). Функция $u(E)$ — это приближенно среднее время (временной канал) событий для данного E ; функция $E(t)$ — это приближенно средняя энергия (канал энергий) событий для данного t .

Распределение (точнее, эмпирическая плотность распределения) $u(t)$ инвариантна относительно преобразования $t \rightarrow kt$, если при этом $\tau \rightarrow k\tau$ (т.е. при одинаковом временном смысле t и τ речь идет лишь о выборе единиц времени).

Полезная информация распределения заключена в тех событиях, координаты t, E которых связаны зависимостью $E = A \exp(t/\tau)$.

Грубо приближенно мы можем выделить эмпирическое соответствие «энергия–время» $E \approx t_E$, где в качестве времени t_E берется $u(E)$. Это множество пар можно использовать для построения оценок параметров A, τ , т.е. подгоняем данные (E, t_E) к модели $A \exp(t/\tau)$ минимизацией выражения

$$\sum_{E=1}^n \omega(E)(E - A \exp(t_E/\tau))^2, \quad (1)$$

где $\omega(E)$ — весовая функция, обычно обратно пропорциональная $d(t)$ -квдрату ошибки E (зависящей от ошибки t_E).

Это нелинейный по параметрам (A, τ) фитинг. Выражение (1) можно линеаризовать по параметрам преобразованием

$$E \rightarrow \ln(E), \quad A \exp(t_E/\tau) \rightarrow \ln(A) + t_E/\tau.$$

Переопределив параметры $A_n \rightarrow \ln(A)$; $T_n = 1/\tau$, мы преобразуем (1) в задачу, линейную по параметрам A_n, T_n ,

$$\sum_{E=1}^n \omega(E)(\ln(E) - A_n - t_E T_n)^2. \quad (2)$$

Решение задачи (2) даст нам оценки A_n, T_n , из которых мы легко получим оценки A и τ , используя которые в качестве начальных оценок, мы с помощью нелинейного фитинга получим уточненные искомые оценки.

К сожалению, ситуация осложнена присутствием в plane distribution многочисленных посторонних событий, что приводит к неустойчивой и ненадежной работе фитинга. Поэтому к (1) применяется прием робастности, который в данном случае заключается в следующем. В качестве весовой функции $\omega(E)$ в (1) выбирается выражение, зависящее от априорной оценки параметров A_0, τ_0 (например, решение логарифмической задачи или данные, полученные на предыдущей итерации):

$$\omega(t, A_0, \tau_0) = \begin{cases} 1/d(t), \\ (1 + \beta)/(d(t)((h(t)/c)^2 + \beta)), & \text{если } |h(t)| < c, \end{cases}$$

где $d(t)$ — дисперсия, а $h(t) = E - A_0 \exp(t_E/\tau_0)$; c и β являются заданными константами, определяющими стратегию робастной подгонки. Достоинством таких весов является то, что посторонние примеси значительно подавляются автоматически, т. е. в тех точках t , где E явно не подгоняется функцией $A \exp(t_E/\tau)$, ее влияние на ход процесса минимизации подавляется, так что возникает шанс правильно аппроксимировать E , по крайней мере, на части множества (t_E) . Механизм фильтрации правильного решения при таком подходе в отличие от метода штрафных функций, где большие отклонения от истинных функций наказываются, здесь поощряет большие отклонения от подгоняемой функции, нейтрализуя однако их там, где фитинг явно не работает. Формализм квадратичного фитинга позволяет, кроме того, оценить хотя бы частично статистическую точность найденных параметров. Более подробное изложение как физического, так и математического содержания можно найти в [2, 3].

При использовании программы VMRIA последовательно открываются два диалоговых окна (рис. 4, 5). После первой установочной команды Graph — Plane Distribution во втором диалоговом окне вводятся последовательно все другие параметры в соответствии с оптимизацией решения задачи. Заметим, что чувствительность — это амплитуда в распределении $s(t, E)$, ниже которой события в ячейке считаются фоновыми и ячейка зануляется (при условии, что в окружающих ячейках событий нет).

1. Set the bounds of the event distribution (N in $t < 121$, N in $E < 121$). Преобразуется матрица от 4000×4000 к графической матрице 120×120 .

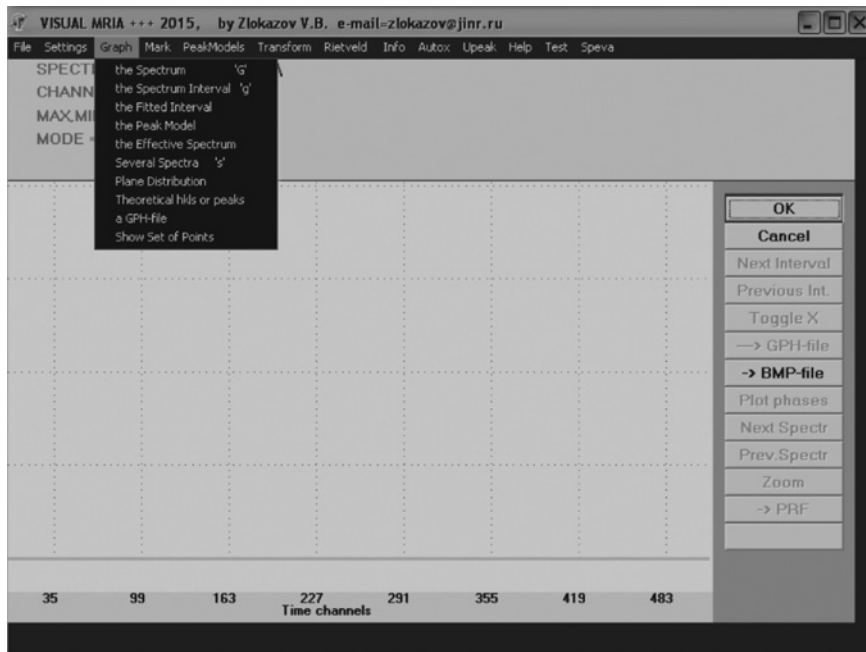


Рис. 4. Первое диалоговое окно программы VMRIA

Установить границы координат событий — t (время) и E (энергия). Действует ограничение — обе границы не более 120.

2. Set the sizes.

X_{phys} — диапазон X -координат на плоскости (t вдоль абсцисс); Y_{phys} — диапазон Y -координат на плоскости (E вдоль ординат); N in t , N in E — максимальное число событий по t и E в зависимости $A \exp(t/\tau)$; Pos.weights for — диапазон весов для кривой $A \exp(t/\tau)$; Sens-Chanwidth — чувствительность (ширина канала в единицах t).

3. Specify column combination in the event file комбинируется из 2D-, 3D- или 4D-матрицы 1,2 1,3 1,4 2,3 2,4 3,4. Пара номеров указывает, какая комбинация описывает 1 событие.

4. Specify the scale.

Указывает стиль и тип масштабов на плоскости

X axis logarithmic

Y axis logarithmic

XY axes reversed — перевернуть оси X и Y . thick point — число пикселей на графе 1 или 5 на 1 точку-событие.

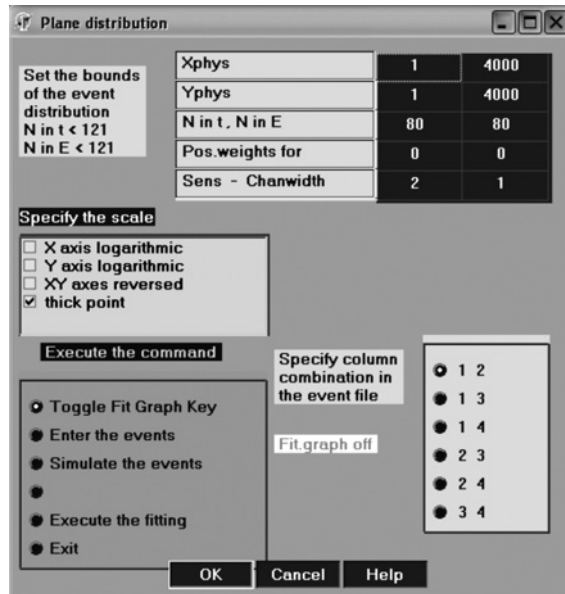


Рис. 5. Второе диалоговое окно программы VMRIA

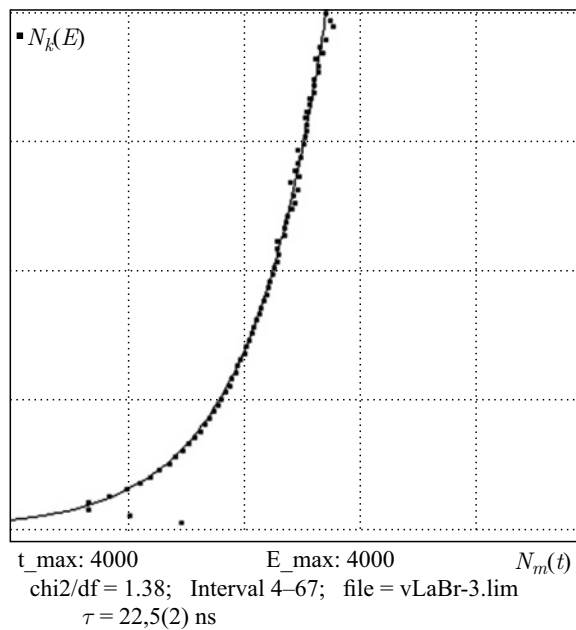


Рис. 6. Результаты определения времени высвечивания сцинтиллятора LaBr3:Ce по программе VMRIA

5. Execute the command.

Выполнить команду Toggle Fit Graph Key — включить (выключить) построение графика; Enter the events — ввести массив данных и отобразить его на плоскости; Execute the fitting — выполнить фитинг кривой $A \exp(t/\tau)$; Exit — выход.

На рис. 6 представлен результат определения времени высвечивания сцинтиллятора LaBr₃:Ce. Кристалл фирмы «Saint-Gobin V380» имел размеры 38 × 38 мм (содержание примеси Ce неизвестно). Полученный результат $\tau = 22,5(2)$ нс подтверждает известные данные [4], соответствующие в зависимости от процентного содержания Ce (от 5 до 0,5 %) значениям τ от 15 до 26 нс.

Авторы признательны В. Б. Бруданину за постоянную поддержку работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Morozov V. A. et al. // Nucl. Instr. Meth. A. 2002. V. 484. P. 225–232.*
2. *Morozov V. A., Morozova N. V., Zlokazov V. B. // Nucl. Instr. Meth. A. 2015. V. 775. P. 148–153.*
3. *Zlokazov V. B., Morozov V. A. // Phys. Part. Nucl., Lett. 2014. V. 11, No. 4. P. 483–485.*
4. *Shah K. S. et al. Preprint LBNL 51793, 2002.*

Получено 21 июля 2015 г.

Редактор *М. И. Зарубина*

Подписано в печать 18.08.2015.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,62. Уч.-изд. л. 0,76. Тираж 225 экз. Заказ № 58614.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: publish@jinr.ru

www.jinr.ru/publish/