

УДК 621.039+53.087.4

МЕТОД РАЗДЕЛЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ НЕЙТРОННОГО И ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СЦИНТИЛЛЯТОРА CLYC(Ce)

ЛАГУЦКИЙ И.А., АНТОНОВ В.И., КОМАР Д.И.

*Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,
(Минск, Республика Беларусь)*

Аннотация. В статье описан метод разделения импульсов нейтронного и гамма-излучения при использовании сцинтиллятора CLYC(Ce) для спектрометрии гамма-излучения при одновременном детектировании нейтронного излучения. Рассмотрены основные характеристики данного сцинтиллятора с точки зрения его применения в блоках детектирования гамма- и нейтронного излучения. Приведен метод сепарации гамма- и нейтронных импульсов на основании различий формы импульсов, а именно скорости нарастания и амплитуды. Рассмотрены перспективы рассмотренного метода для дальнейшего применения в блоках детектирования гамма- и нейтронного излучения на основе сцинтиллятора CLYC(Ce).

Ключевые слова: сцинтилляторы, CLYC(Ce), разделение импульсов, гамма-излучение, нейтронное излучение, фотоэлектронный умножитель, энергетическое разрешение.

METHOD OF SEPARATION OF NEUTRON AND GAMMA-RADIATION PULSES USING THE CLYC(Ce) SCINTILLATOR

ILYA A. LAGUTSKIY, VLADIMIR I. ANTONOV, DAMIAN I. KOMAR

*Scientific Production Unitary Enterprise «ATOMTEX»,
(Minsk, Republic of Belarus)*

Abstract. The paper describes the method of neutron and gamma radiation pulse separation when using CLYC(Ce) scintillator for gamma radiation spectrometry with simultaneous detection of neutron radiation. The main characteristics of this scintillator from the point of view of its application in gamma- and neutron radiation detection units are considered. The method of separation of gamma- and neutron pulses on the basis of differences in pulse shape, specifically the rise time and amplitude, is presented. The prospects of the considered method for further use in gamma- and neutron detection units based on scintillator CLYC(Ce) are considered.

Keywords: scintillators, CLYC(Ce), pulse separation, gamma radiation, neutron radiation, photomultiplier tube. Energy resolution.

Введение

Персональные радиационные детекторы (ПРД) и спектрометрические персональные радиационные детекторы (СПРД) являются важными инструментами служб быстрого реагирования для обнаружения источников гамма-излучения и нейтронного излучения. Гамма-спектрометрический канал позволяет проводить идентификацию гамма-излучающих радионуклидов по спектру. Сочетание гамма-спектрометрического канала и детектирование нейтронного излучения в одном приборе обеспечивает высокую вероятность обнаружения опасных ядерных материалов.

Сцинтиллятор CLYC(Ce) (Cs_2LiYCl_6) весьма перспективен для одновременного обнаружения источников в полях смешанного гамма и нейтронного излучения, т.к. CLYC(Ce) имеет высокую эффективность регистрации нейтронов тепловых энергий благодаря наличию в составе 6Li , и обладает высоким энергетическим разрешением при спектрометрии гамма-излучения (4,5% для энергии 662 кэВ). Импульсы от гамма- и нейтронного излучения имеют разную форму, что позволяет провести их разделение.

Получение импульсов гамма- и нейтронного излучения сцинтиллятора CLYC(Ce)

Для анализа формы импульсов гамма- и нейтронного излучения для детектора CLYC(Ce) размерами $\varnothing 38 \times 38$ мм был собран тестовый стенд, структура которого представлена на рис. 1.

Световые импульсы, поступающие со сцинтиллятора на фотоэлектронный умножитель, подключенный по схеме с заземленным анодом, преобразуются в токовые импульсы. Данные сигналы анализируются в двух точках: предпоследний динод, с использованием резистивно-

емкостной нагрузки, и анод в режиме снятия тока. Такой комплексный подход позволяет осуществлять полный сбор заряда с анода, что позволяет более точно оценивать амплитуду импульса и уменьшает вклад устройства обработки в параметр энергетического разрешения. Снятие импульсов напряжения с предпоследнего динода с комплексной нагрузкой позволяет получить необходимые для работы АЦП импульсы, не влияя на сбор заряда. В данном случае для получения аппаратного спектра использовалось АЦП со шкалой 4 МэВ.

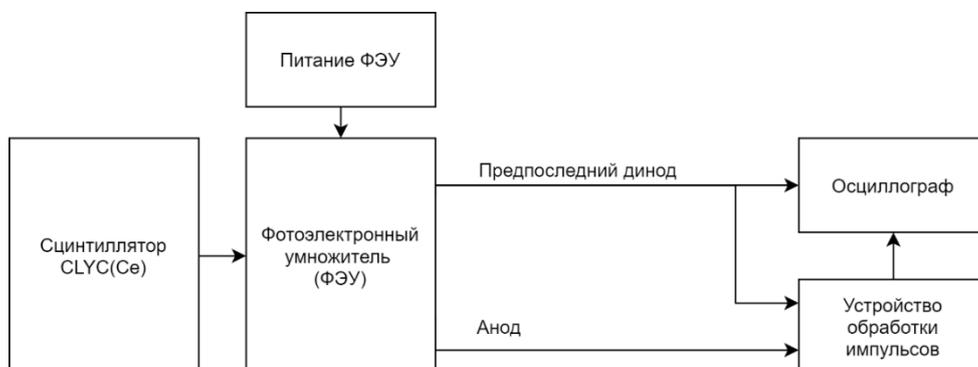


Рис. 1. Структурная схема стенда захвата импульсов сцинтиллятора CLYC(Ce).

Форма импульсов от гамма- и нейтронного излучения была получена путем подключения к предпоследнему диноду цифрового осциллографа, что позволяет оценивать как амплитудные так и временные характеристики сигнала. Для получения импульсов был использован источник $^{238}\text{PuBe}$ окруженный 5 см полиэтилена, что создавало поток тепловых нейтронов, достаточный для эффективной работы с цилиндрическим кристаллом CLYC(Ce) размером $\text{Ø}38 \times 38$ мм.

Для определения принадлежности импульсов к гамма- или нейтронному излучению был проведен анализ аппаратного спектра, который показал, что альфа-частицы, образуемые в кристалле при взаимодействии ^6Li с тепловыми нейтронами, формируют пик в районе энергии 3,1-3,2 МэВ. В связи с этим была произведена настройка синхронизации осциллографа и устройства обработки таким образом, что оцифровывание сигнала происходило только для тех импульсов, чей интегрированный с анода заряд соответствовал в аппаратном спектре энергии $3,15 \text{ МэВ} \pm 5\%$.

Полученные осциллограммы импульсов нейтронного и гамма-излучения от $^{238}\text{PuBe}$ источника далее были сохранены и обработаны цифровыми методами для избавления от шумов и наводки импульсов синхронизации.

На рис. 2 представлены обработанные осциллограммы импульсов от различных частиц, которые в аппаратном спектре соответствуют энергии $3,15 \text{ МэВ} \pm 5\%$. Шаг дискретизации составляет 2 нс.

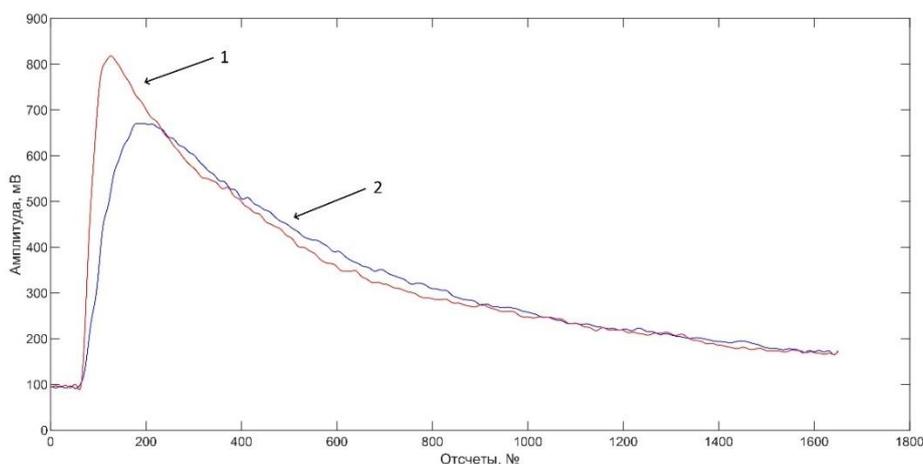


Рис. 2. Формы гамма- и нейтронного импульсов, получаемые на входе устройства обработки: 1 – гамма-излучение, 2 – нейтронное излучение

Метод сепарации импульсов

При анализе формы импульсов было замечено, что наибольшие различия заметны в течение первой микросекунды свечения кристалла, при этом, несмотря на одинаковое значение заряда, собираемого за время вспышки, амплитуда и скорость нарастания фронта гамма-импульса значительно выше, что также отмечено в публикациях [1-4].

Однако во многих работах амплитуды приведены в нормализованной величине, что может вводить в некоторое заблуждение при анализе импульсов. Это связано с тем, что при нормировке разница в скорости нарастания фронта становится менее заметной, а разница постоянных времени экспоненциальных составляющих многокомпонентной сцинтилляции CLYC(Ce) становится значительно заметнее, а именно для нейтронного импульса значительно больше «хвост» импульса.

В данном случае можно сделать вывод, что разделение импульсов можно проводить с помощью оценки длительности самой большой составляющей сцинтилляции, однако полученные осциллограммы показывают, что разница экспоненциальных составляющих при одинаковом заряде для импульсов от гамма- и нейтронного излучения значительно меньше разницы в скорости нарастания фронта, учитывая разницу амплитуды. Это различие открывает возможность разделения импульсов с использованием анализа скорости нарастания фронта.

Исходя из полученных данных был разработан метод сепарации импульсов нейтронного и гамма-излучения с потенциальной возможностью его применения в блоках детектирования на основе АЦП без необходимости осуществления общепринятого для кристалла CLYC(Ce) принципа анализа формы импульса (*pulse-shape discrimination – PSD*) на основе количественной оценки скорости сбора заряда.

Данный метод основан на оценке скорости нарастания фронта импульсов, попадающих в энергетическое окно отклика кристалла на тепловые нейтроны. Суть метода заключается в вычислении времени между двумя событиями: моментом старта сбора сигнала и временем пересечения импульсом, получаемым с динода, определенной амплитудной границы. Данный способ легко осуществить с помощью двух высокоскоростных компараторов, задержка которых не должна превышать одного такта счетчика времени.

Для первого компаратора устанавливается достаточно низкий уровень, который отвечает за формирование импульса старта преобразования всего АЦП Вилкинсона. Он подбирается в зависимости от конкретной реализации работы данного. Для второго компаратора устанавливается уровень, который позволит с высокой долей вероятности засечь импульс нейтронного излучения, но при этом не будет настолько низок, чтобы разница между моментом срабатывания компаратора на гамма-частицу и нейтрон была мала.

Для разделения гамма- и нейтронного импульсов необходимо вычислить время от возникновения стартового импульса до появления импульса, характеризующего скорость нарастания фронта. Далее опытным путем подбирается временная граница, которая отвечает за отнесение анализируемого импульса к одному или другому виду излучения.

Для импульсов, приведенных на рис. 2, оптимальным уровнем является 600 мВ, что обеспечивает наилучшее соотношение между разницей в моменте формирования импульса компаратора и вероятностью того, что амплитуда импульса нейтрона окажется ниже. При этом необходимо отметить, что при анализе импульсов было замечена разница в колебании амплитуды нейтронных и гамма импульсов попадающих в одинаковое энергетическое окно. Амплитуда нейтронных импульсов значительно колеблется (в пределах 50 мВ), в то время как амплитуда гамма-импульсов практически всегда одинаковая. Данный фактор необходимо учитывать при выборе уровня дискриминации импульсов.

В ходе экспериментов было получено, что для анализируемой системы скорость нарастания гамма-импульсов составляет менее 50 нс (в среднем 25 нс), а для импульсов от нейтронов составляет не менее 100 нс (в среднем 150 нс). Таким образом для исследуемой системы оптимальным является установление порога превышения в 80 нс. Если разница между импульсами старта и превышения порога дискриминации больше данного значения, то можно с высокой долей вероятности сказать, что отклик сцинтиллятора вызван попаданием в него нейтрона.

Заключение

Проведен анализ перспектив использования кристаллического сцинтиллятора CLYC(Ce) для одновременного детектирования нейтронного и гамма-излучения.

Для определения характеристик импульсов, необходимых для разделения гамма- и нейтронного излучения был собран стенд с использованием кристалла Ø38×38 мм с природным содержанием ${}^6\text{Li}$.

При анализе аппаратного спектра детектируемого излучения было обнаружено, что пик тепловых нейтронов, находится в диапазоне 3,1-3,2 МэВ.

При анализе формы импульсов было обнаружено, что наиболее выражены различия в течение первой микросекунды сцинтилляции, а именно заметно, что гамма-импульс имеет большую амплитуду и скорость нарастания фронта. Данные различия формы импульсов позволяют применить метод разделения гамма- и нейтронного излучения на основе оценки скорости нарастания фронта с использованием компараторов. В ходе экспериментов было получено, что средняя скорость нарастания фронта гамма-импульсов составляет 25 нс, а нейтронного импульса 150 нс.

Таким образом данный метод имеет перспективы применения в блоках детектирования гамма- и нейтронного излучения на основе неорганического сцинтиллятора CLYC(Ce) в качестве альтернативы более распространенному методу оценки скорости сбора заряда.

Список литературы

1. D'Olympia, N., Chowdhury, P., Lister, C.J., Glodo, J., Hawrami, R., Shah, K., Shirwadkar, U. Pulse-shape analysis of CLYC for thermal neutrons, fast neutrons, and gamma-rays. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2013; 714, 121-127. DOI:10.1016/j.nima.2013.02.043
2. Whitney C.M., Soundara-Pandian L., Johnson E.B., Vogel S., Vinci B., Squillante M., Glodo J., Christian J.F. Gamma–neutron imaging system utilizing pulse shape discrimination with CLYC. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2015; 784, 346-351. DOI: 10.1016/j.nima.2014.09.022
3. Dinar N., Celeste D., Silari M., Varoli V., Fazzi A.. Pulse shape discrimination of CLYC scintillator coupled with a large SiPM array. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2019; 935, 35-39. DOI: 10.1016/j.nima.2019.04.099
4. Xue, T., Zhu, J., Wen, J., Cang, J., Zeng, Z., Wei, L., ... Li, J. Optimization of energy resolution and Pulse Shape Discrimination for a CLYC detector with integrated digitizers. Journal of Instrumentation, 2020, 15(02), P02018–P02018. doi:10.1088/1748-0221/15/02/p02018