

УДК 539.1.074.3

МЕДИЦИНСКИЙ ГАММА-ЗОНД НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО КРИСТАЛЛА $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$

А. К. Бердникова^{1,2}, Ф. А. Дубинин², В. А. Канцеров²

Приведено описание медицинского гамма-зонда для радионуклидной диагностики, выполненного на основе детектора, состоящего из сцинтилляционного кристалла $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ и кремниевого фотоумножителя. Проведено исследование спектротрических характеристик детектора. Получено энергетическое разрешение 3.6% на линии 662 кэВ, и 10% на линии 140.5 кэВ. Приведено описание технических характеристик разработанного гамма-зонда; показано, что по совокупности характеристик он не уступает лучшим мировым аналогам.

Ключевые слова: гамма-спектрометрия, сцинтилляционный детектор, галогенид лантана, гамма-зонд, радионуклидная диагностика.

Введение. Одним из мощных методов современной клинической медицины является диагностика заболеваний человека путём введения в его организм радиоизотопов, содержащихся в индикаторных количествах в составе специальных радиофармацевтических препаратов (РФП) и визуализация пространственного распределения гамма-излучающих РФП в энергетическом диапазоне 35–662 кэВ для наблюдения и оценки физиологических функций внутренних органов и тканей [1, 2]. В ряде клинических случаев важно проведение радиодиагностического исследования непосредственно во время хирургической процедуры (радионавигационная хирургия [3]). В качестве диагностических приборов в радионавигационной хирургии используются компактные гамма-зонды (gamma probe), предназначенные для локализации областей накопления радиофармпрепаратов в живом организме.

Гамма-зонд на основе сцинтилляционного кристалла $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$. В данной работе использован неорганический сцинтилляционный кристалл $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ цилиндрической формы с диаметром 5 мм, высотой 10 мм, специально выращенный в Институте физики

¹ Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 115409 Россия, Москва, Каширское ш., 31.

² ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: yagn.anastaia@gmail.com.

твёрдого тела РАН, г. Черноголовка [4], в сочетании с кремниевым фотоумножителем SensL MicroFC с чувствительной площадью 3×3 мм². Поскольку кристалл LaBr₃:Ce гигроскопичен, была разработана специальная сборка сцинтиляционного кристалла и кремниевого фотоумножителя, заключенная в единый герметичный алюминиевый корпус. Данная конструкция позволила увеличить светосбор, защитить фотоумножитель от внешней засветки, а сцинтиллятор – от влаги. Спектрометрические характеристики исследовались на установке, схема которой представлена на рис. 1. Спектры регистрировались многофункциональным осциллографом Lecroy 620Zi, обладающим возможностью амплитудного анализа импульсов. Для обеспечения питания фотодетекторов использовались источники Актаком АТН-2031 и Polon 1904.

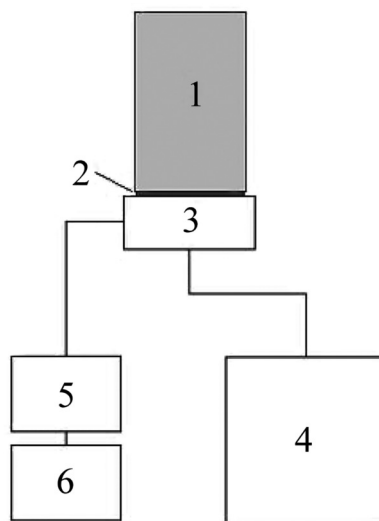


Рис. 1: Принципиальная схема установки. 1 – сцинтиллятор, 2 – оптическая смазка, 3 – фотоприемник, 4 – анализатор импульсов, 5 – контроль напряжения питания и тока, 6 – источник питания.

Исследования спектрометрических характеристик детекторной сборки проводились с использованием радиоизотопа Cs-137 (662 кэВ), а также медицинского радионуклида ^{99m}Tc, имеющего линию гамма-излучения с энергией 140.5 кэВ. Амплитудные спектры гамма-излучения радионуклидов ^{99m}Tc и ¹³⁷Cs, измеренные с помощью исследуемой сборки, представлены на рис. 2(а) и (б), соответственно. Энергетическое разрешение составило 10% на линии 140.5 кэВ, и 3.6% на линии 662 кэВ.

Технические характеристики гамма-зонда. Для исследования технических характеристик гамма-зонда на основе сцинтиляционной сборки использовался свинцовый

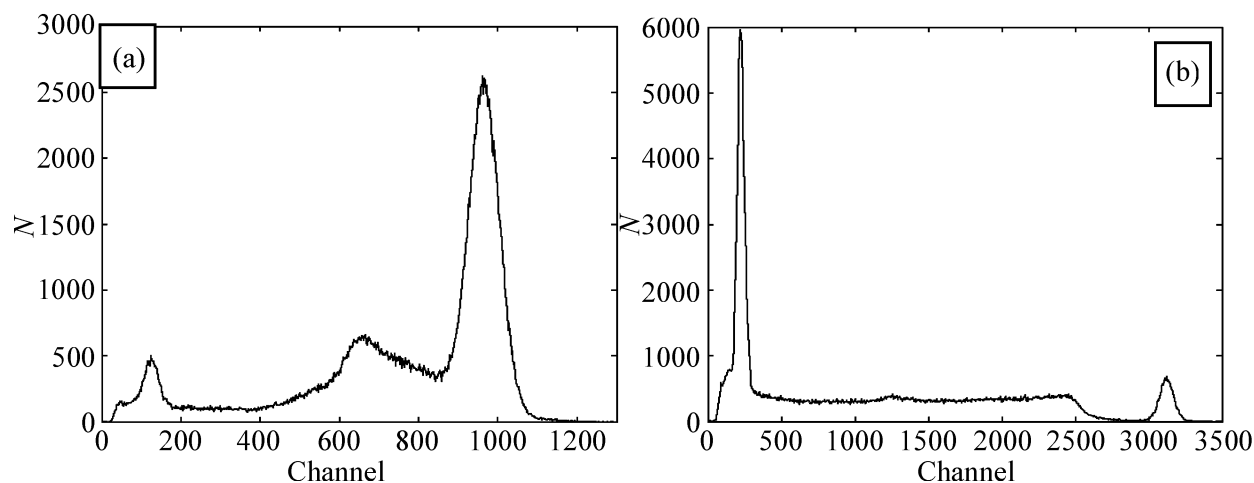


Рис. 2: Амплитудные спектры радионуклида ^{99m}Tc (а) и радионуклида ^{137}Cs (б), полученные с помощью исследуемой сборки (1 канал = 0.1 мВ).

коллиматор в форме трубки диаметром 14 мм, с толщиной стенки 3 мм, входная часть которого имеет форму усеченного конуса высотой 7 мм. Диаметр входного отверстия коллиматора составляет 4 мм. Испытания технических характеристик гамма-зонда были проведены в соответствии со стандартной процедурой, принятой в мировой практике для медицинских гамма-зондов – протоколом Национальной ассоциации производителей электрооборудования США NEMA NU3-2004 “Руководство по измерению технических характеристик и контролю качества невизуализирующих гамма-зондов” [5]. К числу контрольных параметров гамма-зондов относятся чувствительность, пространственное разрешение, пространственная селективность.

Чувствительность определяется как количество зарегистрированных гамма-квантов на единицу активности гамма-источника, расположенного на определенном расстоянии от гамма-зонда. Чувствительность гамма-зонда пропорциональна произведению геометрической светосилы коллиматора и эффективности регистрации гамма-излучения детектором. Пространственное разрешение определяется как полная ширина на половине высоты (FWHM) координатного распределения скорости счета гамма-зонда вдоль оси, перпендикулярной оси симметрии гамма-зонда. Пространственное разрешение характеризует точность, с которой определяется местоположение локального гамма-источника при помощи гамма-зонда, а также возможность различить два источника гамма-излучения, расположенных вблизи друг от друга. Пространственная селективность – это полная ширина на половине высоты (FWHM) углового распределения скорости счета гамма-зонда (варьируется угол наклона гамма-зонда относительно

но прямой, соединяющей источник гамма-квантов и центр входного окна детектора). Пространственная селективность определяет поле зрения детектора. Более узкое поле зрения позволяет более надежно выделить полезный сигнал на фоне гамма-излучения от прилегающих мягких тканей.

Измерения были проведены с использованием квазиточечного источника гамма-квантов Co-57 (122 кэВ, 136 кэВ) с активностью 49.1 МБк. В качестве тканеэквивалентной рассеивающей среды использовалась вода в сосуде размерами $30 \times 30 \times 30$ см³. Результаты измерений технических характеристик гамма-зонда представлены в табл. 1 для двух глубин залегания гамма-источника: 30 и 50 мм.

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики гамма-зонда

Среда	Чувствительность, имп/(с·МБк)	Пространственная селективность, град	Пространственное разрешение, мм
<i>Глубина 30 мм</i>			
Воздух	1074 ± 33	19.1 ± 1.2	17.8 ± 0.2
Вода	653 ± 26	26.6 ± 1.4	20.3 ± 0.3
<i>Глубина 50 мм</i>			
Воздух	514 ± 23	19.5 ± 1.2	25.9 ± 0.4
Вода	249 ± 16	25.1 ± 1.6	31.5 ± 1.0

Результаты экспериментальных испытаний гамма-локатора показали, что по техническим характеристикам он не уступает лучшим мировым образцам гамма-зондов [6].

Заключение. Создан медицинский гамма-зонд на основе сцинтилляционного детектора, состоящего из кристалла $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ и кремниевого фотоумножителя, упакованных в общий герметичный светоизолированный корпус. Исследование спектрометрических характеристик детектора показало, что его энергетическое разрешение составляет 3.6% на линии 662 кэВ и 10% на линии 140.5 кэВ. Приведено описание технических характеристик гамма-зонда, разработанного на основе данного сцинтилляционного детектора; показано, что по совокупности характеристик он не уступает лучшим мировым аналогам.

Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности НИЯУ МИФИ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] M. Wernick, J. Arsvold, *Emission tomography: the fundamentals of PET and SPECT* (Elsevier, Academic Press, 2004).
- [2] S. P. Povoski, R. L. Neff, C. M. Mojzisik, et al., *World J. Surg Oncol.* **7**, 11 (2009).
- [3] G. Mariani et al., *Radioguided surgery. A comprehensive team approach* (Springer Science+Business Media, LLC, 2008).
- [4] А. С. Симутин и др., *Приборы и техника эксперимента* № 5, 40 (2013).
- [5] NEMA NU3 Performance measurements and quality control guidelines for non-imaging intraoperative gamma probes. 2004.
- [6] M. Zamburlini, K. Keymeulen, M. Bemelmans et al., *Nucl. Med. Commun.* **30**, 854 (2009).

Поступила в редакцию 6 июля 2016 г.