

УДК 539.1.074.8

ПРОТОТИП ДВУХКООРДИНАТНОГО ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДЕТЕКТОРА НА ОСНОВЕ СЦИНТИЛЛЯТОРА ${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}(\text{Ag})$

© 2023 г. М. М. Подлесный^{a, b, *}, В. М. Милков^a, А. А. Богдзель^a,
В. И. Боднарчук^a, А. А. Хассан^{a, c}

^aОбъединенный институт ядерных исследований, Дубна, 141980 Россия

^bМосковский физико-технический институт (национальный исследовательский университет),
Долгопрудный, 115184 Россия

^cНациональный исследовательский ядерный университет “МИФИ”,
Москва, 115409 Россия

*e-mail: podlesny@phystech.edu

Поступила в редакцию 15.08.2022 г.

После доработки 17.10.2022 г.

Принята к публикации 17.10.2022 г.

Представлен прототип двухкоординатного позиционно-чувствительного детектора на основе сцинтиллятора ${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ малой площади, изготовленного с использованием спектросмещающих оптических волокон квадратного сечения. Размер квадратной активной области детектирующей поверхности (96×96 см) соответствует 16 каналам регистрации по оси X и 16 каналам по оси Y . Описаны конструкция детектора и результаты его настройки, а также продемонстрирована его работоспособность при тестировании с квазиоднородной засветкой. Полученная эффективность регистрации нейтронов составила 8%.

Ключевые слова: регистрация тепловых нейтронов, позиционно-чувствительный детектор, спектросмещающие оптические волокна, эффективность регистрации.

DOI: 10.31857/S1028096023040167, **EDN:** JN1BPB

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований освоены технологии изготовления сцинтилляционных детекторов тепловых и холодных нейтронов на основе ${}^6\text{Li}$ в составе сцинтилляционного экрана (${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}(\text{Ag})$). По этой технологии были разработаны детектор АСТРА для фурье-стресс-дифрактометра ФСД [1, 2] и широкоапертурный детектор обратного рассеяния для фурье-дифрактометра высокого разрешения [3, 4] реактора ИБР-2 [5]. На сегодняшний день актуальной для нейтронных центров является задача создания сцинтилляционных позиционно-чувствительных детекторов (ПЧД) большой площади. Это обусловлено тем, что сцинтилляционные детекторы позволяют получить точную временную отметку и более просты в эксплуатации в сравнении с газовыми детекторами, использующими дорогой ${}^3\text{He}$. В настоящей работе представлен прототип сцинтилляционного ПЧД с малой рабочей площадью.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Описание детектора

В качестве детектирующей поверхности прототипа ПЧД выбрали сцинтилляционный ND-экран фирмы Applied Scintillation Technologies Ltd. [6] с рабочей площадью 96×96 мм² и толщиной 0.42 мм. Данный сцинтиллятор имеет эффективность конвертации нейтрона 32% (для длины волны 1.8 Å) и низкую чувствительность к гамма-квантам (10^{-6}). Для повышения эффективности детектора использовали четыре слоя сцинтиллятора с полной эффективностью конвертации до 78%.

Принципиальная схема детектирующей части прототипа представлена на рис. 1. Свет от сцинтилляционных экранов собирается с помощью спектросмещающих оптических волокон (фиберов) квадратного сечения размером 1 мм фирмы Viscon [7]. Одному каналу регистрации размером 6 мм соответствуют три фибера (всего 16 каналов по одной координате). Каналы разделены между собой отражателями из алюминиевой фольги толщиной 25 мкм, этой фольгой также обклеены

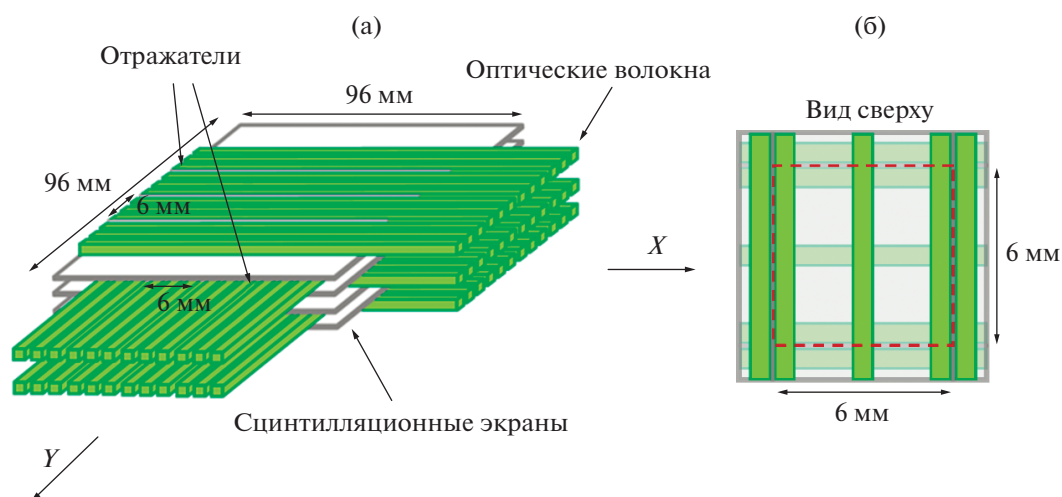


Рис. 1. Принципиальная схема детектирующей части прототипа: а – расположение оптических волокон относительно сцинтилляционных экранов; б – вид сверху, штриховой линией схематически показана одна детектирующая ячейка, границы которой соответствуют отражателям.

торцы оптических волокон. Пространство между сцинтилляторами и волокнами целиком заполнено оптическим клеем Stycast 1266 [8]. Между сцинтилляторами расположен слой оптических волокон, соответствующий каналам по одной координате (X или Y). Слои, соответствующие разным координатам, чередуются: из пяти слоев оптических волокон три соответствуют одной координате, два – другой. Волокна разных слоев, соответствующие одному каналу, объединяются с помощью специальной матрицы и подаются на два шестнадцатиканальных фотоумножителя Н8711-100 фирмы Hamamatsu [9]. Детектор помещен в светоизолирующий алюминиевый корпус. Фотография прототипа ПЧД в сборе представлена на рис. 2.

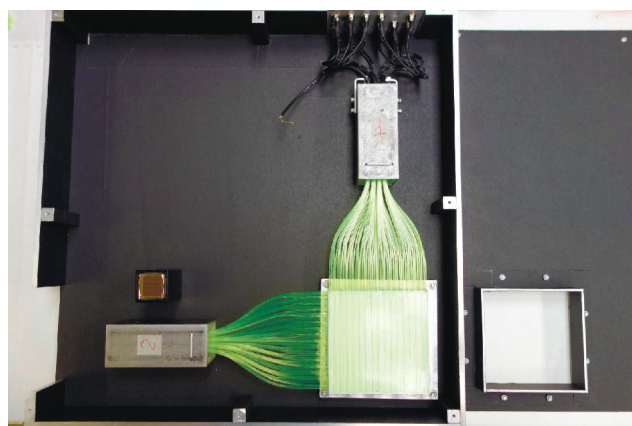


Рис. 2. Фотография прототипа ПЧД в сборе. Корпус разобран.

Экспериментальная установка

Прототип был протестирован с помощью специализированного стенда. В качестве источника нейтронов использовали компактный изотопный источник на основе ^{252}Cf с интенсивностью 1.02×10^7 н/с (паспортные данные на 19.05.2011). Источник помещали в специальный бокс, заполненный замедлителем на основе полиэтилена. В боксе был сделан вырез, напротив которого располагали чувствительную область детектора.

На фотоумножители подавали рабочее напряжение -800 В. Сигналы с анодных каналов фотоумножителей подавали на два шестнадцатиканальных усилителя Philips Scientific Model 778 [10] с встроенными фильтрами интегрирования и постоянной времени 300 нс для сглаживания нейтронного сигнала. Сигналы с усилителей подавали на четыре восьмиканальных дигитайзера N6730 фирмы Saep (разрешение 14 бит, частота дискретизации 500 мегасэмплов в секунду) [11]. Данные с дигитайзеров поступали на персональный компьютер через оптоволокно и плату PCI Express.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 3 показана полученная двумерная гистограмма квазиоднородной засветки детектора на экспериментальном стенде. Время набора данных составило 3600 с. Наблюдаются артефакты в виде низкого счета первого канала по оси X (обусловлено повреждением оптических волокон канала в ходе сборки детектора) и завышенного счета пяти каналов, которые могут быть скорректированы подбором соответствующих коэффициентов усиления.

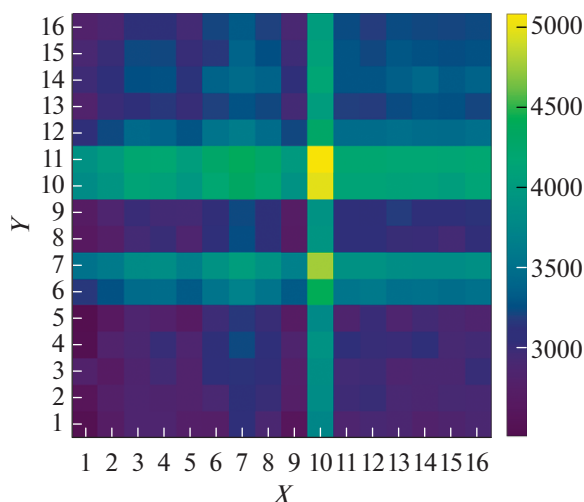


Рис. 3. Пример двумерной гистограммы квазиоднородной засветки детектора на экспериментальном стенде. Ширина канала по каждой из осей 6 мм.

Суммарная интенсивность регистрации детектора на единицу площади составила $2.1 \text{ н/см}^2/\text{с}$. Эталонное измерение с помощью гелиевого счетчика в той же геометрии эксперимента дало величину $\sim 30 \text{ н/см}^2/\text{с}$. Таким образом, эффективность регистрации нейтронов детектора составила $\sim 8\%$ при теоретически рассчитанной эффективности конвертации нейтронов 78% . Существенное понижение данной характеристики обусловлено низкой прозрачностью сцинтиллятора относительно собственного излучения. Подобный результат был получен в [12], где эффективность регистрации нейтронов составила 6% .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание сцинтилляционного детектора большой площади – сложная трудоемкая задача, требующая соответствующей аккуратности и ресурсоемкости. Используемая в данном детекторе технология расположения сцинтилляционных пластин и волокон показала достаточно низкую эффективность регистрации нейтронов. Для повышения эффективности регистрации необходимо улучшать эффективность светосбора. Для этого можно использовать сцинтилляционные экраны меньшей толщины, либо использовать альтернативные технологии расположения волокон и сцинтиллятора, например, расположение двух слоев оптических волокон между сцинтилляторами. Детектор такого типа описан в [13], эффективность регистрации нейтронов составила 100% .

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-10-2021-115 от 13 октября 2021 г., внутренний номер 15. СИН.21.0021).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бокучава Г.Д., Балагуров А.М., Сумин В.В., Панушкин И.В. // Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтрон. исслед. 2010. № 11. С. 9.
2. Kuzmin E.S., Balagurov A.M., Bokuchava G.D., Zhuk V.V., Kudryashev V.A., Bulkin A.P., Trounov V.A. // J. Neutron Res. 2002. V. 10. № 1. P. 31. <https://doi.org/10.1080/10238160290027748>
3. Balagurov D.A., Balagurov A.M., Bobrikov I.A., Bogzdel A.A. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B. 2018. V. 436. P. 263. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2018.09.045>
4. Kruglov V.V., Balagurov A.M., Belova M.O., Bobrikov I.A., Bogzdel A.A., Bodnarchuk V.I., Bulavina V.V., Daulbaev O., Drozdov V.A., Zhuravlev V.V., Kirilov A.S., Kulikov S.A., Kurilkin A.K., Milkov V.M., Murashkevich S.M., Podlesnyy M.M., Prikhodko V.I., Churakov A.V., Shvetsov V.V. // J. Neutron Res. 2021. V. 23. № 4. P. 243. <https://doi.org/10.3233/JNR-210001>
5. IBR-2 pulsed reactor. <http://flnph.jinr.ru/en/facilities/ibr-2>
6. Kuzmin E.S., Balagurov A.M., Bokuchava G.D., Zhuk V.V., Kudryashev V.A., Bulkin A.P., Trounov V.A. // J. Neutron Res. 2002. V. 10. № 1. P. 31. <https://doi.org/10.1080/10238160290027748>
7. Organic Scintillation Materials and Assemblies. <https://www.crystals.saint-gobain.com/radiation-detection-scintillators/fibers>
8. Henkel Loctite Stycast 1266 Epoxy. <https://www.ellsworth.com/products/by-manufacturer/henkel-loctite/encapsulants/epoxy>
9. Hamamatsu Multianode Photomultiplier Tube Assembly. <https://www.hamamatsu.com/jp/en/product/optical-sensors/pmt/pmt-assembly/metal-package-type/H8711-100.html>
10. Philips Scientific 16 Channel Variable Gain Amplifier. <https://hallweb.jlab.org/hchkwiki/images/PS778.pdf>
11. CAEN 8 Channel 14-bit 500 MS/s Digitizer. <https://www.caen.it/products/n6730/>
12. Sakai K., Hirota K., Adachi T., Ikeda K., Morishima T., Shimizu H.M., Furusaka M., Sato S., Kiyonagi Y., Sakamoto N., Sakuma T., Oku T., Suzuki J., Littrell K., Loong C.-K., Czjrr J.B., McKnight T.K. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2004. V. 529. № 1–3. P. 301. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2004.04.170>
13. Katagiri M., Nakamura T., Ebine M., Birumachi A., Sato S., Shooneveld E.M., Rhodes N.J. // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. 2007. V. 573. № 1–2. P. 149. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2006.11.011>

Prototype of a Two-Coordinate Position-Sensitive Detector Based on a ${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ Scintillator

M. M. Podlesny^{1, 2, *}, V. M. Milkov¹, A. A. Bogdzal¹, V. I. Bodnarchuk¹, A. A. Hassan^{1, 3}

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, 141980 Russia

²Moscow Institute of Physics and Technology (National Research University), Dolgoprudny, 115184 Russia

³National Research Nuclear University (Moscow Engineering Physics Institute MEPHI), Moscow, 115409 Russia

*e-mail: podlesny@phystech.edu

A prototype of a two-coordinate position-sensitive detector based on a small-area ${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}(\text{Ag})$ scintillator, fabricated using square-section spectrum-shifting optical fibers, is presented. The size of the square active area of the detecting surface (96×96 cm) corresponds to 16 channels along the X axis and 16 channels along the Y axis. The obtained neutron detection efficiency is 8%.

Keywords: registration of thermal neutrons, position-sensitive detector, wavelength-shifting optical fibers, detection efficiency.