

ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

УДК 539.1.074.55

ПРОТОТИП СЦИНТИЛЛЯЦИОННОГО ДЕТЕКТОРА BEAM–BEAM COUNTER ДЛЯ NICA SPD

© 2022 г. А. В. Тишевский^{a, *}, И. Г. Алексеев^b, И. С. Волков^a, Ю. В. Гурчин^a,
А. Ю. Исупов^a, Т. В. Кулевой^b, В. П. Ладыгин^a, П. А. Полозов^b,
С. Г. Резников^a, Д. Н. Свирида^b, А. А. Терехин^a, А. Н. Хренов^a

^aОбъединенный институт ядерных исследований, Дубна, Московская обл., 141980 Россия

^bНациональный исследовательский центр “Курчатовский институт”, Москва, 123182 Россия

*E-mail: tishevskiy@jinr.ru

Поступила в редакцию 25.10.2021 г.

После доработки 27.10.2021 г.

Принята к публикации 31.10.2021 г.

Детектор спиновой физики на NICA предполагает подсистему Beam–Beam Counter для локальной поляриметрии и мониторинга светимости. Основной опцией для Beam–Beam Counter служат высокогранулярные сцинтилляционные пластины со считыванием кремниевыми фотоумножителями. В работе представлены результаты исследований прототипа сцинтилляционного детектора с использованием двух типов первичной электроники. Обсуждается оценка временного разрешения с использованием процедуры коррекции эффекта “time-walking”.

Ключевые слова: кремневые фотоумножители (SiPM), регистрирующая электроника (FEE), время над порогом (ToT), система сбора данных (DAQ), детектор спиновой физики (SPD)

DOI: 10.56304/S2079562922030538

ВВЕДЕНИЕ

В связи с повышенным интересом к изучению свойств плотной барионной материи, в Объединенном институте ядерных исследований создается коллайдер NICA (Nuclotron based Ion Collider fAcility). Одной из точек взаимодействия коллайдера является детектор спиновой физики (SPD), главная цель которого заключается в изучении спиновой структуры нуклонов при столкновениях продольно и поперечно поляризованных протонов и дейтронов с энергией в системе центра масс до 27 ГэВ и светимостью до $10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

SPD запланирован как универсальный 4π-спектрометр с расширенными возможностями обнаружения и идентификации частиц за счет широкого функционала его подсистем. В качестве инструмента для локальной поляриметрии и контроля светимости создается подсистема Beam–Beam Counter (BBC). Целесообразность подобного типа поляриметрии демонстрирует корреляция между измерениями поляриметра CNI и азимутальной асимметрией инклюзивного выхода заряженных частиц в BBC коллаборации STAR.

Предполагается две части SPD/BBC, которые в зависимости от интенсивности пучка планируются разными. Поскольку концепция внешней части – высокогранулярные сцинтилляционные пластины со считыванием кремниевыми фото-

умножителями (SiPM), был разработан прототип сцинтилляционного детектора (рис. 1б) с различными типами первичной электроники (FEE). Оба типа основаны на считывании SiPM фирмы Hamamatsu (S12572-010P) [1].

ОПИСАНИЕ ПРОТОТИПА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ТЕСТОВ

*Регистрирующая электроника
с функцией Time-over-Threshold*

В качестве одного из кандидатов для прототипа детектора была разработана одноканальная первичная электроника для считывания SiPM. Электроника выполнена на печатной плате размером $4 \times 2.5 \text{ см}^2$ (рис. 2а) и основана на методе “время над порогом” (ToT). Сам метод состоит из двух измерений времени – прохождения отрицательного сигнала ниже (leading) и возврата выше (trailing) заданного порога, и позволяет измерять заряд по ширине электрического импульса.

Кроме того, были использованы усилители, не меняющие передний фронт сигнала. Сигнал после усилителя интегрируется и передается на компаратор, откуда по интерфейсу LVDS выводится на считывающую электронику. Таким образом, благодаря разработанной плате электро-

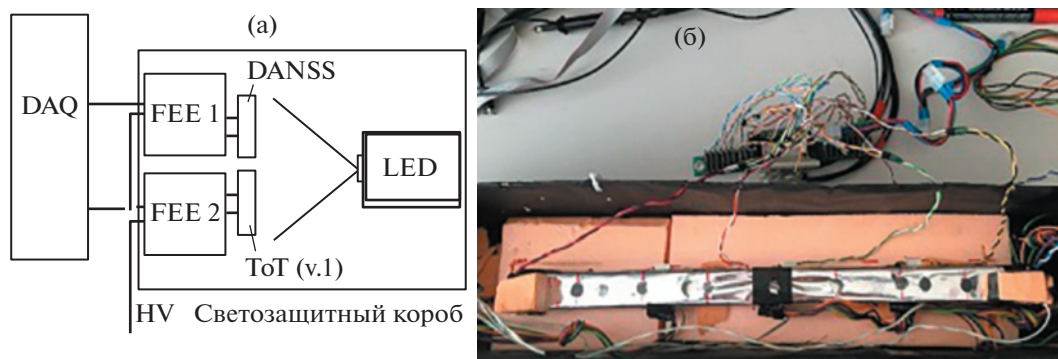


Рис. 1. Схематический вид тестов без сцинтиллятора (а); вид прототипа (б).

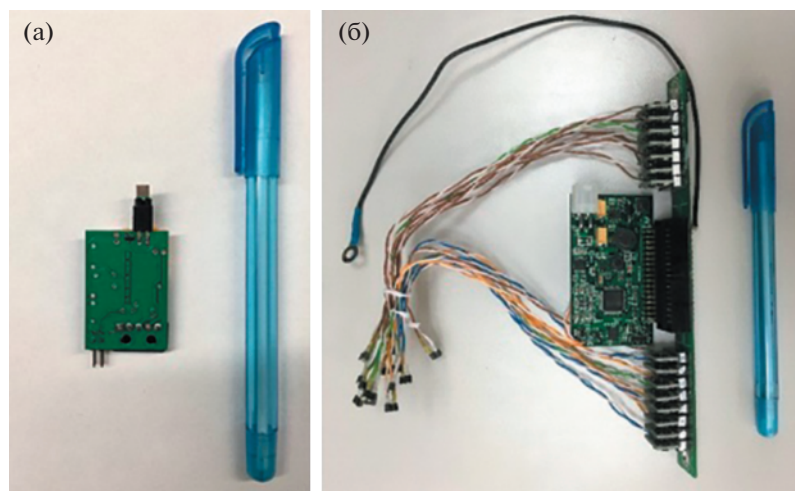


Рис. 2. Схематический вид электроники: с функцией ToT (а); эксперимента DANSS (б).

ники мы имеем возможность получить временную метку события и измерить заряд.

Питание производится источником питания (ИП) с возможностью одновременного подключения до восьми каналов электроники. ИП содержит кнопочный интерфейс, дисплей и встроенный вольтметр. Напряжение смещения состоит из постоянной (38/52/67 В) и подстраиваемой для каждого канала (в диапазоне от 0 В до +10 В) частей.

Регистрирующая электроника эксперимента DANSS

Другим кандидатом для прототипа детектора стала электроника, произведенная группой ИТЭФ (рис. 2б). Эта электроника используется, например, для эксперимента DANSS [2], имеет многоканальную платформу, созданную из нескольких печатных плат. Первая плата осуществляет питание и связь с ПК по RS-232, и подсоединяется через IDC34 к общей плате, на которой установлены 15 плат первичной электроники. Питание производится в более широком диапазоне, и состоит из постоянного (10–65 В) и подстраиваемого для

каждого канала (± 10 В) напряжения смещения. Каждая плата размером $1.7 \times 1.9 \text{ см}^2$ содержит выход напряжения смещения для SiPM и вход для сигнала. Сигнал проходит через усилитель и далее выводится через разъем IDC34 на считывающую электронику.

Прототип сцинтилляционного детектора

Начальная версия прототипа детектора включает 40-сантиметровый пластиковый сцинтиллятор и десять каналов электроники (рис. 1б). С целью увеличения светосбора сцинтиллятор завернут в майларовую пленку. В пленке на верхней грани сцинтиллятора для исследований, связанных с положением источника калиброванных световых импульсов (светодиод), проделаны отверстия: по центру; с шагом 5 см в обе стороны; и несколько дополнительных отверстий с каждой стороны. Вдоль боковой грани расположен один типичный вариант электроники с SiPM в отверстиях: по центру; и с шагом 10 см в обе стороны. На торцах сцинтиллятора располагались по одному каналу каждого варианта электроники. В случае

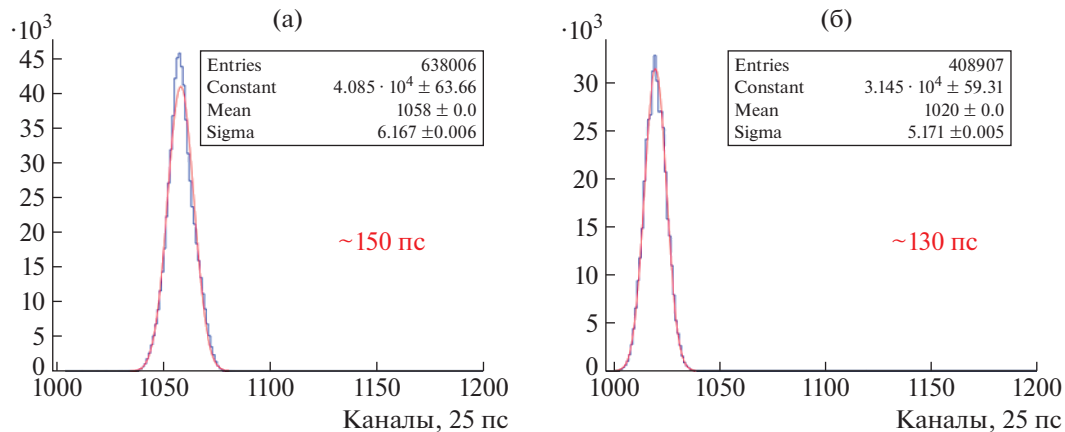


Рис. 3. Гистограмма $T_{SiPM1} - T_{SiPM2}$ после коррекции для тестов электроники с функцией ToT в случае: отсутствия сцинтиллятора (а); наличия сцинтиллятора (б).

электроники с функцией ToT была использована третья версия плат. Данная версия отличается стабильностью компаратора и расширенным рабочим диапазоном.

Оборудование для тестов

Тестирование электроники (рис. 1а) и прототипа детектора проводилось в светоизолирующем боксе, где температура во время измерений составляла $27.1 \pm 0.4^\circ\text{C}$. В качестве источника света использовался светодиод, выполненный в виде отдельной платы с синхроимпульсом с выхода LEMO [3]. Данный синхроимпульс использовался в качестве триггера для системы сбора данных [4] на основе VME. Система включала в себя контроллер FVME – V2.0, оцифровывающие модули TQDC16 и TDC32 и триггерный модуль TMWR [5]. Набранные данные обрабатывались в программном пакете ROOT.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ

Был исследован отклик SiPM от источника света с электроникой двух видов при наличии и отсутствии сцинтиллятора. Были получены и проанализированы гистограммы разности времен при различных амплитудах светодиода.

Ранее при тестировании первой версии электроники с функцией ToT [6], было выявлено, что сигнал в области малых амплитуд поступает позже по времени. Это связано с запозданием сигнала, часто называемым эффектом “time-walking”. Этот эффект возникает из-за разницы момента времени, когда фотон или заряженная частица проходит через детектирующий элемент, и моментом времени, когда электроника регистрирует этот сигнал. Это приводит к ухудшению временного разрешения. В связи с этим был предложен метод коррекции временных спектров, описанный в работе [7].

Предложенная коррекция актуальна при сравнении временных спектров при наличии и отсут-

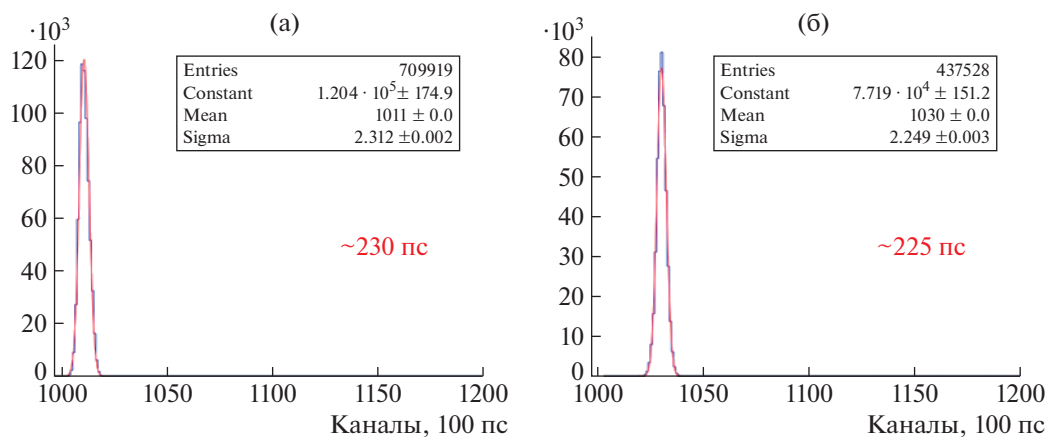


Рис. 4. Гистограмма $T_{SiPM1} - T_{SiPM2}$ после коррекции для тестов электроники эксперимента DANSS в случае: отсутствия сцинтиллятора (а); наличия сцинтиллятора (б).

ствии сцинтиллятора. На рис. 3 и 4 представлены гистограммы разности времен прихода сигналов $T_{\text{SiPM1}} - T_{\text{SiPM2}}$ для торцевых каналов электроники после применения коррекции. Гистограммы аппроксимировались функцией Гаусса, и временное разрешение определялось как параметр сигма (σ) гауссовой функции. Из рисунков видно, что при наличии или отсутствии пластика для двух типов электроники временное разрешение практически неизменно.

При сравнении регистрирующей электроники с функцией ToT и эксперимента DANSS временное разрешение составило приблизительно 130 пс и 225 пс, соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была разработана вторая версия регистрирующей электроники с функцией ToT.

Нами проведено тестирование регистрирующей электроники с функцией ToT и электроники эксперимента DANSS со считыванием SiPM производства Hamamatsu (S12572-010P).

Был испытан прототип сцинтилляционного детектора. Различие временного разрешения составило приблизительно 40%.

Предложенный прототип является важным этапом для разработки подсистемы BBC. С учетом не оптимальности использованных SiPM для точных временных измерений результат является многообещающим.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ гранта 19-02-00079а и в рамках контракта ОИЯИ-ИТ-ЭФ 100-2265.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. Hamamatsu S12572-010P Datasheet. <http://www.hamamatsu.com/jp/en/S12572-010P.html>.
2. Alekseev I. G. et al. // J. Instrum. 2016. V. 11. P. 11011.
3. http://hvsys.ru/images/data/news/2_small_1368802824.pdf.
4. Isupov A. Yu. // EPJ Web Conf. 2019. V. 204. P. 10003.
5. <https://afi.jinr.ru>.
6. SPD Collab. // arXiv:2102.00442 [hep-ex]. 2022.
7. Tishevskiy A. V. et al. // J. Phys.: Conf. Ser. 2020. V. 1690. P. 012051.

Scintillation Detector Prototype for Beam–Beam Counter at NICA SPD

A. V. Tishevsky^{1, *}, I. G. Alekseev², I. S. Volkov¹, Yu. V. Gurchin¹, A. Yu. Isupov¹, T. V. Kulevoy², V. P. Ladygin¹, P. A. Polozov², S. G. Reznikov¹, D. N. Svirida², A. A. Terekhin¹, and A. N. Khrenov¹

¹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow obl., 141980 Russia

²National Research Centre “Kurchatov Institute”, Moscow, 123182 Russia

*e-mail: tishevskiy@jinr.ru

Received October 25, 2020; revised October 27, 2021; accepted October 31, 2021

Abstract—The Beam–Beam Counter of the Spin Physics Detector at NICA is proposed for local polarimetry and luminosity monitoring. The main option of the Beam–Beam Counter is the scintillation tiles with SiPM readout. The work presents the results for studies of scintillation detector prototype using two options of the front-end electronics. The estimation of time resolution using “time-walking” correction procedure is discussed.

Keywords: silicon photomultiplier (SiPM), front-end electronic (FEE), time-over-threshold (ToT), data-acquisition system (DAQ), spin physics detector (SPD)