

ДВУХКООРДИНАТНЫЙ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ГОДОСКОП НА БАЗЕ ФЭУ-85 ЭКСПЕРИМЕНТА СПАСЧАРМ НА УСКОРИТЕЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ У-70

© 2025 г. А. В. Рязанцев^{a,*}, А. Н. Васильев^a, Ю. М. Гончаренко^a, А. П. Мещанин^a,
В. В. Моисеев^a, В. В. Мочалов^a, П. А. Семенов^a

^aИнститут физики высоких энергий им. А.А. Логунова

Национального исследовательского центра “Курчатовский институт”

Россия, 142281, Протвино, Московская обл., пл. Науки, 1

* e-mail: rya7ants@ihep.ru

Поступила в редакцию 29.07.2024 г.

После доработки 19.09.2024 г.

Принята к публикации 25.09.2024 г.

Представлен двухкоординатный сцинтилляционный годоскоп, собранный с использованием отечественных фотоэлектронных умножителей ФЭУ-85 и высокочувствительных формирователей, разработанных и изготовленных в ИФВЭ. Показаны особенности конструкции и приведены его характеристики при работе в составе экспериментальной установки на пучках канала 14 ускорительного комплекса У-70.

DOI: 10.31857/S0032816225010037, EDN: GGAJ0H

1. ВВЕДЕНИЕ

В многоцелевом эксперименте СПАСЧАРМ (спиновые асимметрии в образовании чармония) в НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ на канале 14 ускорительного комплекса У-70 в настоящее время продолжается обширная программа исследований [1]. Экспериментальная установка СПАСЧАРМ [2] имеет в своем составе четыре станции двухкоординатных сцинтилляционных гоноскопов, которые расположены на фиксированном расстоянии друг от друга вдоль оси пучка до его входа в мишень [3]. Эти детекторы предназначены для вычисления координат точки взаимодействия пучковой частицы с веществом мишени.

В данной работе описаны оригинальные технические решения, использованные при разработке конструкции и изготовлении гоноскопа первой станции и приведены некоторые экспериментальные результаты, характеризующие важность этого детектора для качественного анализа данных.

2. КОНСТРУКЦИЯ ГОДОСКОПА

Требуемые геометрические размеры чувствительной области и координатное разрешение гоноскопа определяются размерами пучка в месте его расположения на расстоянии десяти метров от центра поляризованной мишени. Опираясь на результаты экспериментов, которые были проведены ранее на канале 14 [4], было решено изготовить гоноскоп, перекрывающий площадь около $5 \times 5 \text{ см}^2$ и определяющий координату заряженной частицы с точностью не хуже 2 мм.

Чувствительная область каждой из координатных плоскостей гоноскопа составлена из 24 сцинтилляционных палочек из полистирола и имеет размеры $50 \times 2 \times 4 \text{ мм}^3$ (соответственно длина, ширина и толщина по пучку). Все палочки обернуты алюминизированным майларом толщиной 25 мкм и плотно прилегают друг к другу. Плоскости расположены одна за другой на минимальном расстоянии. Оптические световоды из оргстекла, имеющие одинаковое сечение со сцинтилляторами, приклесены к ним оптической эпоксидной смолой и также обер-

нуты алюминизированным майларом по всей длине достыковки с фотодетектором.

В качестве детектора сцинтилляционного сигнала был выбран недорогой и надежный малогабаритный фотоэлектронный умножитель ФЭУ-85 (диаметр фотокатода составляет 25 мм при длине колбы 107 мм) с сурьмяно-цезиевым фотокатодом, обладающим высокой спектральной чувствительностью и низким темновым током. Его временные и спектрометрические параметры хорошо изучены [5] и подходят для успешного решения поставленной задачи.

Светонепроницаемый алюминиевый корпус гадоскопа имеет квадратную форму. Внутри него вдоль каждой стороны размещены по 12 штук ФЭУ, разделенных тонкими перегородками из текстолита. Резистивные высоковольтные делители напряжения изготовлены по рекомендованной для этого типа ФЭУ схеме. Сопротивление каждого из них составляет около 2.2 МОм. Питание всех ФЭУ осуществляется от общего источника высокого напряжения. Для индивидуальной настройки каждого счетчика используются многооборотные потенциометры типа СП-37Б (1 Вт, 2.2 МОм), включенные последовательно с делителями. Они смонтированы на двух одинаковых печатных платах. Оси потенциометров выведены на переднюю панель разработанного для них модуля. Высокое напряжение от источника (в рабочем режиме составляет 1100 В) подается на разъем, установленный на задней панели этого модуля. Там же находятся два многоконтактных разъема типа PM32, от которых питающие напряжения ФЭУ по многожильным кабелям передаются на два таких же разъема, смонтированных на корпусе гадоскопа. Высоковольтный источник и регулировочный модуль установлены в стойке электроники в домике с регистрирующей аппаратурой системы сбора данных, куда приходят сигналы с гадоскопа. Это техническое решение позволяет осуществлять подстройку отдельных каналов гадоскопа непосредственно при работе с пучком.

Важной особенностью гадоскопа является использование высокочувствительных формирователей НПФ-12, разработанных и изготовленных в ИФВЭ [6], размещенных близко к фотоэлектронным умножителям внутри корпуса. Данное решение позволило снизить их рабочие напряжения и, как следствие, уменьшить темновые токи и ослабить загрузочные эффекты. Тест со светодиодом показал, что при таком включе-

нии каждый канал гадоскопа может обеспечить регистрацию импульсов с частотой до 10 МГц без потери эффективности. С учетом того, что при наборе данных интенсивность пучка не превышает $3 \cdot 10^6$ частиц/с, отпадает необходимость в подпитке последних динодов ФЭУ. Питание всех формирователей осуществляется от источника напряжения отрицательной полярности номиналом 6 В, расположенного рядом с гадоскопом. Выходные сигналы формирователей выведены на разъемы СР-50, размещенные с двух сторон корпуса гадоскопа, и по коаксиальным кабелям с волновым сопротивлением 50 Ом поступают к регистрирующей аппаратуре системы сбора данных. Здесь они преобразуются в парафазные LVDS (low-voltage differential signaling) импульсы и приходят на входы время-цифрового преобразователя (ВЦП) ЕМ-4 в крейт-системы "ЕвроМИСС" [7]. Фотография гадоскопа со снятой крышкой, приведенная на рис. 1, наглядно иллюстрирует расположение всех его компонентов внутри корпуса.

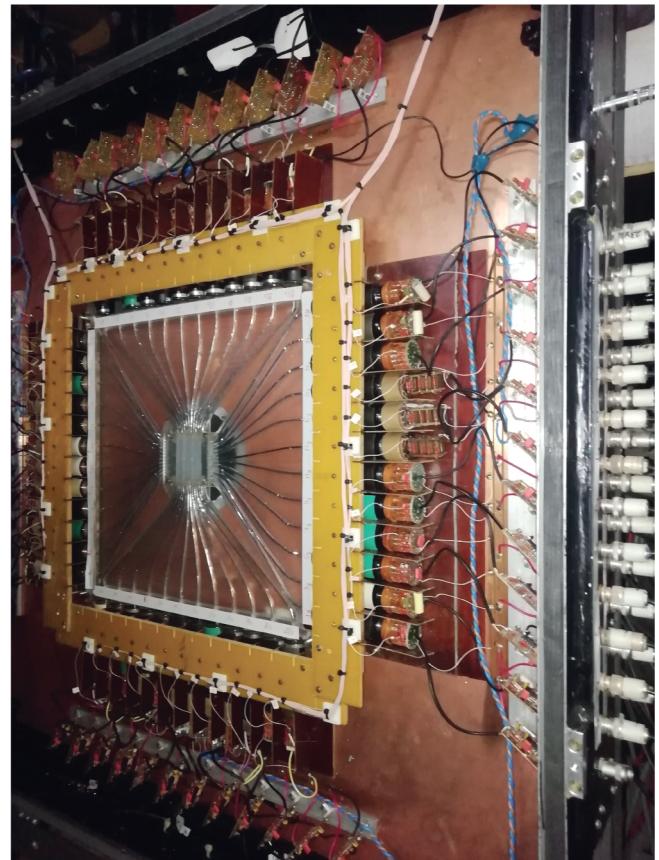


Рис. 1. Фотография двухкоординатного сцинтилляционного гадоскопа в составе экспериментальной установки СПАСЧАРМ на канале 14.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Были проанализированы данные, полученные в ходе тестового сеанса в декабре 2023 года на выведенном в канал 14 пучке протонов 50 ГэВ/с. Сигналы со всех детекторов установки регистрировались по общему триггеру, сформированному из совпадения сигналов от трех сцинтилляционных пучковых счетчиков.

На рис. 2 приведены суммарные спектры времен регистрации сигналов со всех каналов го-

доскопа относительно триггера по координате x (рис. 2а) и по координате y (рис. 2б) во временном окне 200 нс.

Анализ результатов проводился для всех событий временных спектров во временном окне 20 нс (с 90 по 110 деления шкалы абсцисс). Профили пучка по обеим координатам гоудини показаны на рис. 3.

На рис. 4 приведены нормированные распределения множественности — вероятностные распределения количества хитов в каждой из плос-

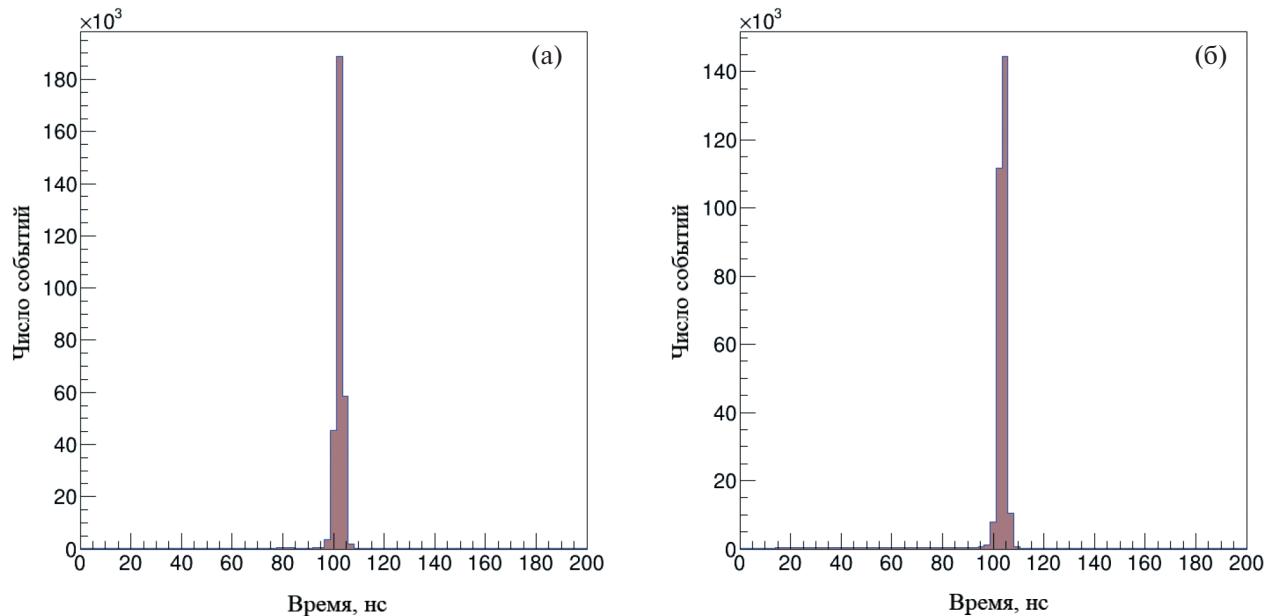


Рис. 2. Суммарные спектры времен регистрации сигналов со всех каналов гоудини относительно триггера: а – по координате x , б – по координате y .

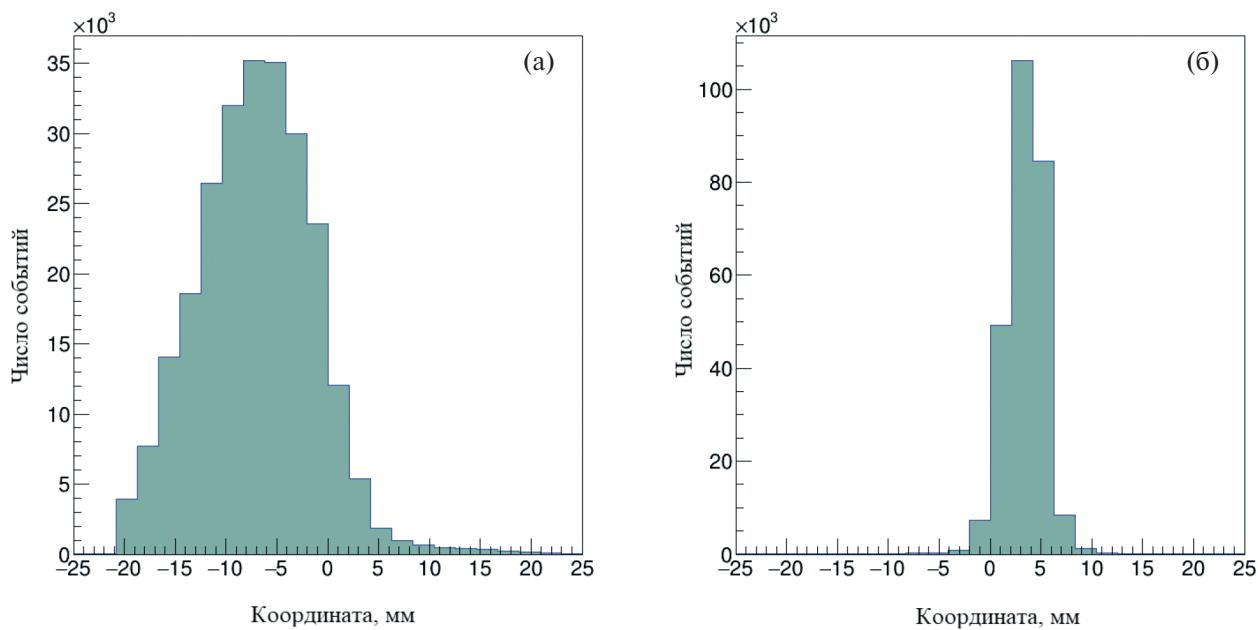


Рис. 3. Профили пучка – статистика числа событий в каналах гоудини: а – по координате x , б – по координате y .

костей на один триггер в заданном временном окне. Из этих гистограмм следует, что неэффективность гадоскопа (нулевая множественность) составляет около 2.8% по координате x и около 2.0% по координате y . Если же при вычислении эффективности добавить условие обязательного наличия трека в центральной области пучка размером $10 \times 10 \text{ mm}^2$, восстановленного по другим

годоскопам установки, то для обеих плоскостей получается значение около 99%.

На рис. 5 показаны корреляции сигналов по двум координатам в каналах гадоскопа первой станции (горизонтальная ось) с сигналами от сцинтилляционного волоконного гадоскопа (вертикальная ось), расположенного далее по пучку на расстоянии 6.75 м.

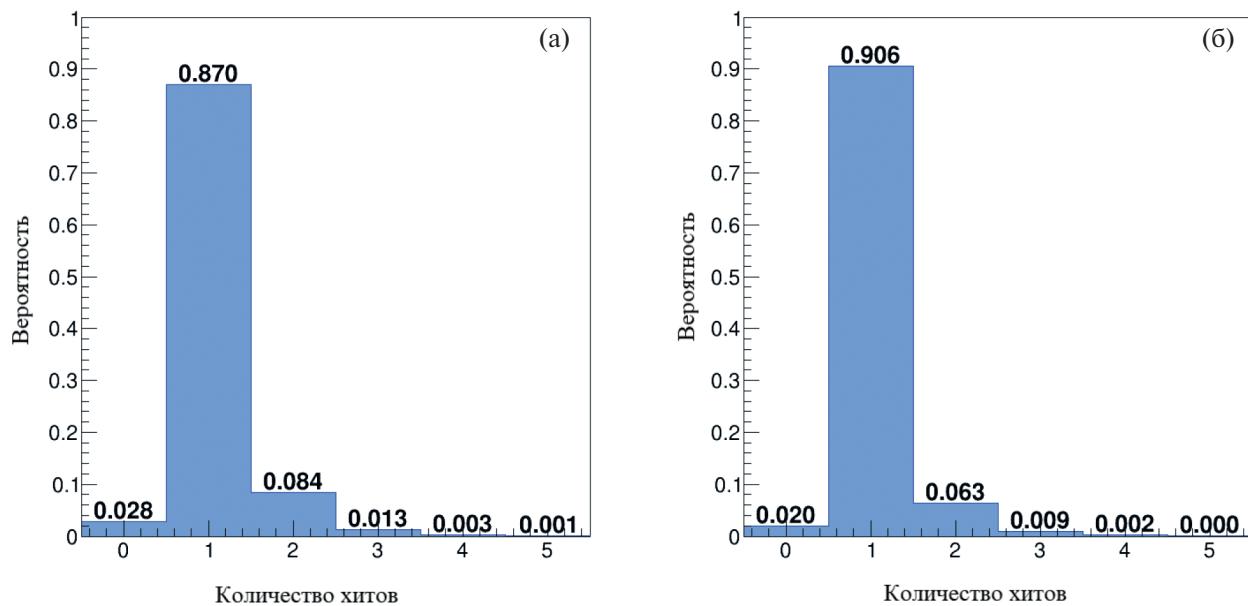


Рис. 4. Нормированные распределения множественности: **а** – по координате x , **б** – по координате y .

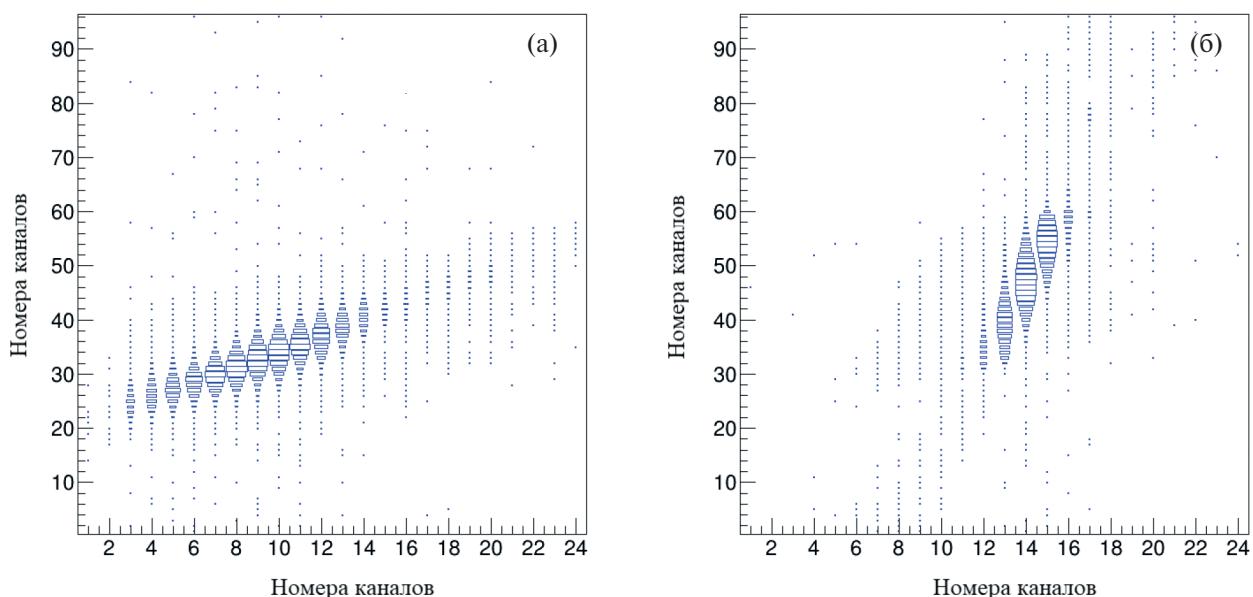


Рис. 5. Корреляции сигналов в каналах двух гадоскопов: **а** – по координате x , **б** – по координате y . По осям отложены номера каналов: по горизонтальным – гадоскопа первой станции, а по вертикальным – сцинтилляционного волоконного гадоскопа.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в настоящей работе двухкоординатный сцинтилляционный годоскоп с шагом дискретизации 2 мм показал высокую надежность функционирования и стабильность параметров при работе в составе экспериментальной установки СПАСЧАРМ на выведенных пучках заряженных частиц ускорительного комплекса У-70. Эффективность каждой из плоскостей годоскопа выше 97%. Изготовленный полностью из отечественных компонентов в экспресс-мастерской физической лаборатории ИФВЭ, годоскоп обладает низкой стоимостью и простотой в обслуживании.

БЛАГОДАРНОСТИ

Коллектив авторов выражает признательность администрации института за поддержку данной работы.

Искренняя благодарность адресуется В.А. Кормилицыну, который собрал представленный в работе годоскоп.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-12-00164).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Abramov V.V., Azhgirey I.L., Borisov A.A. et al. // Physics of Particles and Nuclei. 2023. V. 54. № 1. P. 69. <https://doi.org/10.1134/S1063779623010021>
2. Семенов П.А., Алексеев Г.Д., Алексеев И.Г. и др. // ПТЭ. 2024. № 6. С. 4.
3. Рязанцев А.В., Букреева С.И., Васильев А.Н., Горин А.М., Гончаренко Ю.М., Моисеев В.Б., Мочалов В.В., Семенов П.А. // ПТЭ. 2023. Т. 66. № 4. С. 48. <https://doi.org/10.31857/S0032816223030096>
4. Анокин В.Д., Беликов Н.И., Васильев А.Н. и др. // ПТЭ. 1998. № 4. С. 23.
5. Бондаренко В.Г., Григорьев В.А., Макляев Е.Ф., Рунцо М.Ф. // ПТЭ. 1975. № 4. С. 160.
6. Балдин Б.Ю. // ПТЭ. 1980. № 5. С. 137.
7. Букреева С.И., Емельянов Н.М., Исаев А.Н., Карпеков Ю.Д., Киселев Ю.С., Петров В.С., Сенько В.А., Солдатов М.М., Шаланда Н.А., Якимчук В.И. // ПТЭ. 2014. № 6. С. 23. <https://doi.org/10.7868/S003281621405005X>