



**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»**
Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»

Препринт 2024–08

А.П. Мещанин, А.Н. Васильев, Ю.М. Гончаренко,
В.В. Моисеев, В.В. Мочалов, А.В. Рязанцев, П.А. Семёнов

**Двухкоординатный сцинтилляционный годоскоп
на базе ФЭУ-85 эксперимента СПАСЧАРМ
на ускорительном комплексе У-70**

Направлено в ПТЭ

Протвино 2024

Аннотация

Мещанин А.П. и др. Двухкоординатный сцинтилляционный годоскоп на базе ФЭУ-85 эксперимента СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70: Препринт НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ 2024–08. – Протвино, 2024. – 7 с., 5 рис., библиогр.: 7.

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.

Abstract

Meshchanin A.P. et al. Two-dimensional scintillation hodoscope based on FEU-85 of the SPASCHARM experiment at the U-70 accelerator complex: NRC «Kurchatov Institute» – IHEP Preprint 2024–08. – Protvino, 2024. – p. 7, fig. 5, refs.: 7.

A two-dimensional scintillation hodoscope assembled using domestic photomultiplier tubes FEU-85 and highly sensitive shapers which are developed and manufactured at IHEP is presented. The design features are shown and its characteristics are given when operating as the part of an experimental setup in the beam channel 14 of the U-70 accelerator complex.

Введение

В многоцелевом эксперименте СПАСЧАРМ 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 годоскопов, 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 годоскопа, стоящего первым по направлению пучка, и приведены некоторые экспериментальные результаты, характеризующие важность этого детектора для качественного анализа данных.

Конструкция годоскопа

Требуемые геометрические размеры чувствительной области и координатное разрешение годоскопа 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 годоскоп, перекрывающий площадь $\sim 5 \times 5 \text{ см}^2$ и определяющий координату заряженной частицы с точностью не хуже 2 мм.

Чувствительная область каждой из координатных плоскостей годоскопа составлена из 24 сцинтилляционных палочек из полистирола размером 50 (длина) \times 2 (ширина) \times 4 (толщина по пучку) мм. Все палочки обернуты алюминизированным май-

ларом 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, приклеены к ним оптической эпоксидной смолой и также обёрнуты алюминизированным майларом по всей длине до стыковки с фотодетектором.

В качестве детектора сцинтилляционного сигнала был выбран недорогой и надёжный 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 спектрметрические параметры хорошо изучены [5] и подходят для успешного решения поставленной задачи.

Светонепроницаемый алюминиевый корпус годоскопа имеет квадратную форму. Внутри него вдоль каждой стороны размещены по 12 штук ФЭУ, разделённых тонкими перегородками из текстолита. Резистивные высоковольтные делители напряжения изготовлены по рекомендованной для этого типа ФЭУ схеме. Сопротивление каждого из них составляет ~2,2 Мом. Питание всех ФЭУ осуществляется от общего источника высокого напряжения. Для индивидуальной настройки каждого счётчика используются многооборотные потенциометры типа СП-37Б (1 Вт, 2,2 МОм), включённые 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) подаётся на разъём, установленный на задней панели этого модуля. Там же находятся два многоконтактных разъёма типа РМ32, от которых питающие напряжения ФЭУ по многожильным кабелям передаются на два таких же разъёма, смонтированные на корпусе годоскопа. Высоковольтный источник и регулировочный модуль установлены в стойке электроники в домике с регистрирующей аппаратурой системы сбора данных, куда приходят сигналы с годоскопа. Это техническое решение позволяет осуществлять подстройку отдельных каналов годоскопа непосредственно при работе с пучком.

Важной особенностью годоскопа является использование высокочувствительных формирователей НПФ-12, разработанных и изготовленных в ИФВЭ [6], размещённых 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 включении каждый канал годоскопа может обеспечить регистрацию импульсов с частотой до 10 МГц без потери эффективности. С учётом того, что при наборе данных интенсивность пучка не превышает 3×10^6 частиц/с, отпадает необходимость в подпитке последних динодов ФЭУ. Питание всех формирователей осуществляется от источника напряжения отрицательной полярности номиналом 6 В, расположенного рядом с годоскопом. Выходные сигналы формирователей выведены на разъёмы CP-50, размещённые с двух сторон корпуса годоскопа, 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) EM-4 в кейт системы «ЕвроМИСС» [7]. Фотография годоскопа со снятой крышкой, приведённая на рис. 1, наглядно иллюстрирует расположение всех его компонентов внутри корпуса.

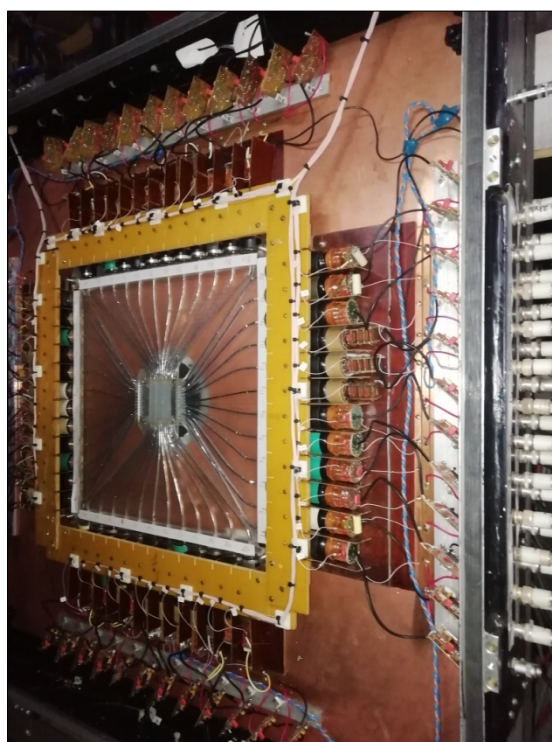


Рис. 1. Фотография двухкоординатного сцинтилляционного годоскопа в составе экспериментальной установки СПАСЧАРМ на канале 14.

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 трёх сцинтилляционных пучковых счётчиков.

На рис. 2 приведены суммарные спектры времён регистрации сигналов со всех каналов годоскопа относительно триггера по координате X (рис. 2а) и по координате Y (рис. 2б) во временном окне 200 нс.

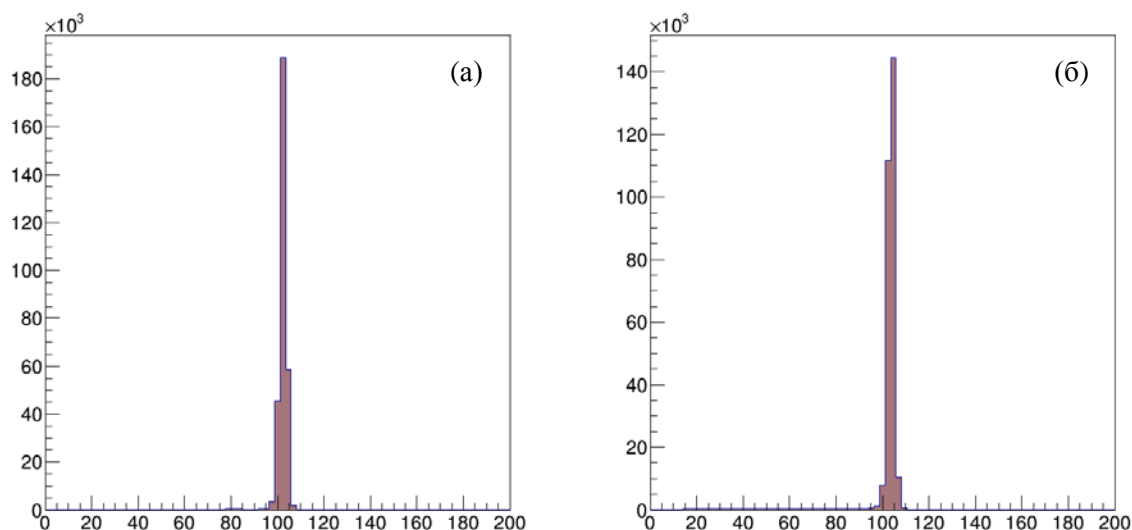


Рис. 2. Суммарные спектры времён регистрации сигналов со всех каналов годоскопа относительно триггера: а - по координате X, б - по координате Y. Горизонтальная шкала приведена в наносекундах

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 годоскопа показаны на рис. 3.

На рис. 4 приведены нормированные распределения множественности – вероятностные распределения количества хитов в каждой из плоскостей на один триггер в заданном временном окне. Из этих гистограмм видно, что неэффективность годоскопа (нулевая множественность) составляет $\sim 2,8\%$ по координате X и $\sim 2,0\%$ по

координате Y . Если же при вычислении эффективности добавить условие обязательного наличия трека в центральной области пучка размером 10×10 мм, восстановленного по другим годоскопам установки, то для обеих плоскостей получается значение $\sim 99\%$.

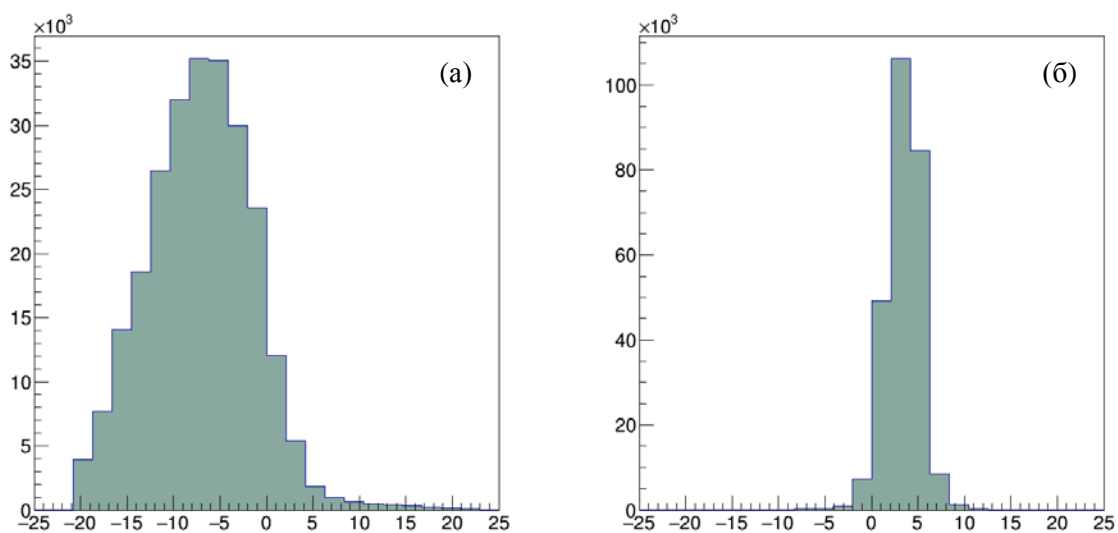


Рис. 3. Профили пучка - статистика числа событий в каналах годоскопа: а - по координате X , б - по координате Y . Горизонтальная шкала приведена в миллиметрах.

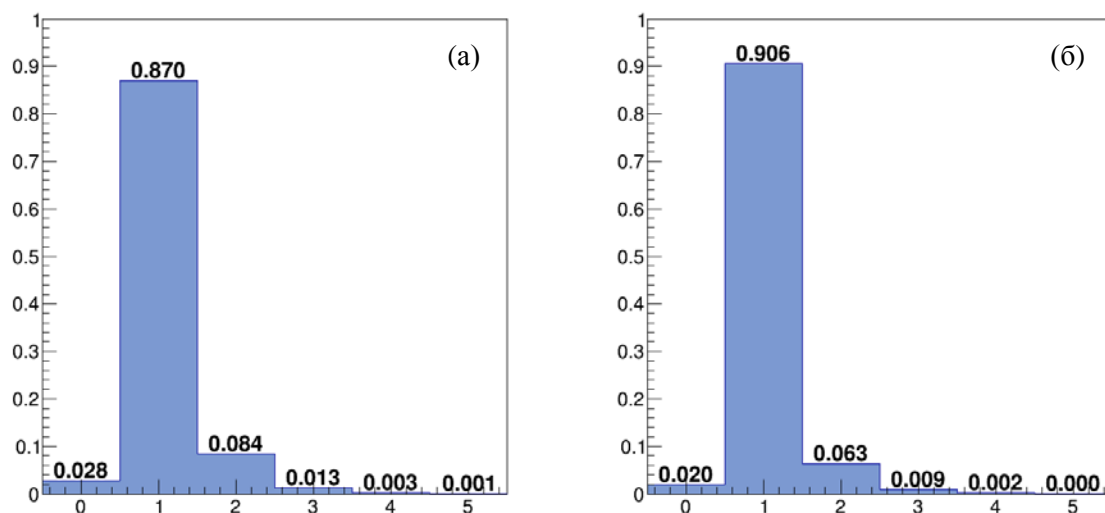


Рис. 4. Нормированные распределения множественности: а - по координате X , б - по координате Y .

На рис. 5 показаны корреляции сигналов по двум координатам в каналах годоскопа (горизонтальная ось) с сигналами от сцинтилляционного волоконного годоскопа (вертикальная ось), расположенного далее по пучку на расстоянии 6,75 м .

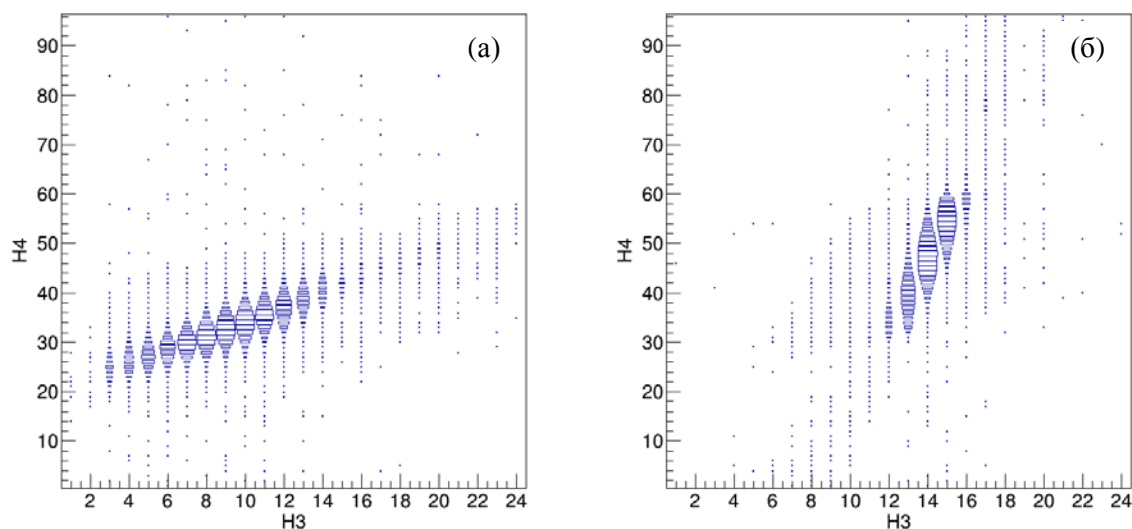


Рис. 5. Корреляции сигналов в каналах двух годоскопов: а - по координате X, б - по координате Y. По вертикальным осям отложены номера каналов сцинтилляционного волоконного годоскопа.

Заключение

Представленный в настоящей работе двухкоординатный сцинтилляционный годоскоп с шагом дискретизации 2 мм показал высокую надёжность функционирования и стабильность параметров при работе в составе экспериментальной установки СПАС-ЧАРМ 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

Работа выполнена в НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ при финансовой поддержке Российского Научного Фонда (грант № 22-12-00164).

Коллектив авторов выражает признательность администрации института за поддержку данной работы.

Искренняя благодарность адресуется вышедшему на заслуженный отдых механику экспериментальных стендов и установок 8-го разряда Кормилицыну Владимиру Александровичу, который собрал представленный в работе годоскоп.

Список литературы

- [1] В.В. Абрамов и др., Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ, ЭЧАЯ, том 54, выпуск 1, стр. 6-189 (2023) [Physics of Particles and Nuclei, V. 54, N 1, p. 69 (2023) DOI: 10.1134/S1063779623010021]
- [2] П.А. Семенов и др., Экспериментальная установка СПАСЧАРМ для исследования спиновых эффектов в адронных взаимодействиях на ускорительном комплексе У-70, Препринт ИФВЭ 2023-13, 2023, Протвино, 28 стр.
- [3] А.В. Рязанцев и др., Сцинтилляционный волоконный годоскоп эксперимента СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70, ПТЭ, том 66, № 4, с. 48–54 (2023), DOI: 10.31857/S0032816223030096 [Instrum. and Experm. Techn., Vol. 66, No. 4, pp. 563–569 (2023), DOI: 10.1134/S0020441223030090]
- [4] В.Д. Апокин и др., Установка ПРОЗА-М для исследования односпиновых асимметрий в инклюзивном образовании нейтральных мезонов на ускорительном комплексе ИФВЭ - ПТЭ, № 4, 1998, стр. 23.
- [5] В.Г. Бондаренко, В.А. Григорьев, Е.Ф. Макляев, М.Ф. Рунцо, Временные и спектрометрические параметры ФЭУ-85 и ФЭУ-87 – ПТЭ, №4, 1975, стр.160
- [6] Б.Ю. Балдин, Высокочувствительные формирователи сигналов фотоэлектронных умножителей – ПТЭ, №5, 1980, стр.137.
- [7] С.И. Букреева и др., Электронная система «ЕвроМИСС» для физических установок ИФВЭ – ПТЭ, № 6, 2014, стр. 23.

Рукопись поступила 10 июля 2024 г.

Мещанин А.П. и др.

Двухкоординатный сцинтилляционный годоскоп на базе ФЭУ-85 эксперимента СПАСЧАРМ на ускорительном комплексе У-70

Препринт отпечатан с оригинала-макета, подготовленного авторами.

Подписано к печати	24.07.2024	Формат 60 × 84/16.	Цифровая печать.
Печ.л. 1,125***.	Уч.– изд.л. 0,864.	Тираж 60.	Заказ 99. Индекс 3649.

НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ
142281, Московская область, г. Протвино, пл. Науки, дом 1

www.ihep.ru; библиотека <http://web.ihep.su/library/pubs/all-w.htm>

Индекс 3649

ПРЕПРИНТ 2024-08,
НИЦ «Курчатовский институт» – ИФВЭ, 2024
