

7. Panov, A., Sokolskaya, N., & Zatsepin, V. (2017). Energy spectra of abundant cosmic-ray nuclei in sources, according to the ATIC experiment. *ApJ*, 837, P. 77.
8. Ahn, at al. (2010). Discrepant hardening observed in cosmic-ray elemental spectra. *ApJ Lett.*, 714, P. L89-L93. doi:10.1088/2041-8205/714/1/L89. ArXiv:1004.1123.
9. Atkin, E., at al. (2017). New universal cosmic-ray knee near a magnetic rigidity of 10 TV with the NUCLEON space observatory. *JETP Letters*, 108, P. 5-12.
10. An, Q., Asfandiyarov, et al. (DAMPE collaboration) (2019). Measurement of the cosmic ray proton spectrum from 40 gev to 100 tev with the dampe satellite. *Science Advances*, 5(9), eaax3793. Doi:10.1126/ sciadv.aax 3793. arXiv: arXiv:1909.12860.
11. Pier Simone Marrocchesi on behalf of the CALET Collaboration. CALET results after 5 years on the ISS. *PoS(ICRC2021)010*.
12. Prosin, at al. (2019). Energy spectrum of primary cosmic rays, according to TUNKA-133 and TAIGA-HiSCORE EAS Cherenkov light data. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 33(8), P. 1016-1019. doi:10.3103/S1062873819080343.
13. Voronin, G., at al. (2007). Testing a prototype of the charge-measuring system for the NUCLEON setup. *Instruments and Experimental Techniques*, 50, P. 187-195.

ТЕСТИРОВАНИЕ НА СТЕНДЕ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ГОДОСКОПОВ УСТАНОВКИ ФОДС

А.Г. Мягков¹, Д.С. Криницын²

¹Филиал «Протвино» государственного университета «Дубна»

²ФГБУ ВО «Институт физики высоких энергий имени А.А. Логонова
НИЦ «Курчатовский институт»

E-mail: Alexey.Miagkov@ihep.ru¹, danila.silver@mail.ru²

Описана конструкция годоскопов используемых на установке ФОДС. Проведено их тестирование на стенде от космических частиц. Описан стенд для проверки годоскопов. Приведены результаты тестирования годоскопов.

Ключевые слова: годоскоп

Введение

Актуальность данной темы обусловлена важностью использования многоканальных годоскопов для регистрации вторичных частиц при взаимодействии пучка с мишенью на установке ФОДС.

Установка ФОДС (Фокусирующий Двухплечевой Спектрометр) [1], показанная на рис. 1, была создана на 22 канале [4] ускорительного комплекса ИФВЭ для измерения редких процессов образования заряженных частиц с предельно большими поперечными импульсами в адрон-адронных, адрон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействиях.

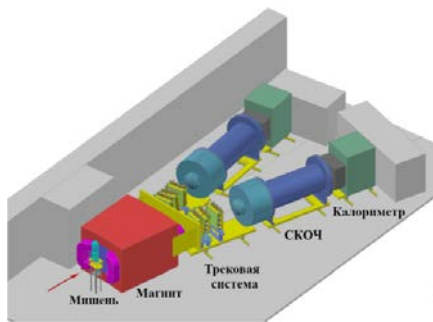


Рис. 1. Установка ФОДС

Измерение интенсивности пучка, падающего на мишень установки

Проведение данных экспериментов требует предельной светимости взаимодействий из-за малых сечений исследуемых физических процессов. Поэтому интенсивность падающего пучка на мишень установки ограничивается только величиной, при которой эффективность реконструкции траектории частиц в трековой системе установки начинает падать. Это происходит при загрузке камер около 10^6 частиц/с, что соответствует интенсивности пучка $5 \cdot 10^8$ частиц/с для твёрдых мишеней толщиной 0,05 ядерной длины взаимодействия. Такую интенсивность можно измерять только относительными мониторами, которые требуют калибровки. Для измерения интенсивности и пространственного распределения пучка были созданы ионизационные камеры [3].

Созданная система мониторинга позволяет оперативно калибровать и контролировать интенсивность пучка в диапазоне $10^4 - 10^9$ частиц/с.

Тестирование на стенде сцинтилляционных годоскопов

Условия эксперимента на установке ФОДС (высокая интенсивность пучка на мишени и большие загрузки детекторов в плечах) потребовали использования сцинтилляционных годоскопов. Годоскопы были необходимы для регистрации в каждом плече спектрометра двух частиц от одного взаимодействия при подавлении случайных временных наложений частиц от разных взаимодействий. В качестве основы для их создания были взяты старые годоскопы, которые ранее использовались на установки для выработки триггера на регистрацию заряженных частиц с заданным порогом на импульс [2]. Конструкция такого годоскопа представляла собой сборку из 32 сцинтилляторов с размером каждого 500x19 мм и толщиной по пучку 10 мм. Каждый сцинтиллятор просматривался одним ф.э.у. (ФЭУ-68), сигнал, с анода которого подавался на усилитель-формирователь с ECL-выходом. Для улучшения временного разрешения годоскопа было принято решение просматривать сцинтиллятор с двух сторон (двумя ф.э.у.). Соответственно была дополнительно изменена конструкция корпуса годоскопа. Также предполагалась замена усилителей-формирователей на новые с LVDS-выходом, что позволяло бы использовать имеющиеся в наличии ВЦП (Время-цифровой преобразователь) в EURO-MISS стандарте. Проверка работоспособности сначала была сделана с использованием старых ECL-усилителей-формирователей с определением максимальных рабочих напряжений на ф.э.у. и их собственных шумов. После этого была проведена сборка годоскопов с новыми LVDS усилителями-формирователями (рис. 2).

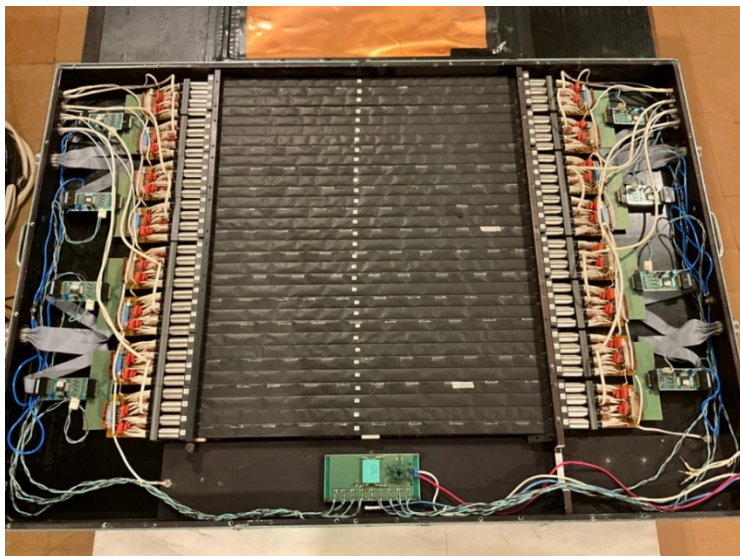


Рис.2.Годоскоп с новыми усилителями-формирователями

Создание и оптимизация стенда для тестирования годоскопов

Проверка работоспособности и изучение характеристик годоскопов проводилась на космических частицах, для этого был создан стенд. Для выработки триггера от космических частиц использовались 6 сцинтилляционных счётчиков размером $500 \times 500 \times 20(10)$ мм. Каждая пара сцинтилляционных счётчиков располагалась с небольшим перекрытием, что позволило получить апертуру 500×900 мм. Сцинтилляторы в годоскопах перекрывают площадь 500×610 мм и стояли друг относительно друга под углом в 90 градусов. Расстояние между годоскопами по вертикали было порядка 100 мм, а пары сцинтилляционных счётчиков располагались сверху и снизу на расстоянии 400 мм от годоскопов. Две пары сцинтилляционных счётчиков, стоящих вплотную друг к другу, располагались снизу от годоскопов, вдоль большего размера нижнего годоскопа. В то время как третья пара располагалась сверху от годоскопов вдоль большего размера верхнего годоскопа. Таким образом обеспечивалось полное перекрытие годоскопов триггером. На рис.3 схематично показано расположение сцинтилляционных счётчиков и годоскопов.

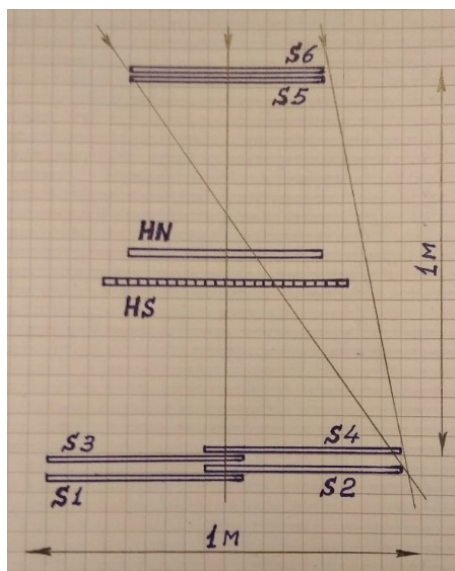


Рис.3.Схема расположения сцинтилляционных счётчиков и годоскопов на стенде

Система выработки триггера от космических частиц

Сигналы с триггерных сцинтилляционных счётчиков подаются на формирователи с линейными выходами. Сигналы с каждой пары сцинтилляционных счётчиков подаются на схему «ИЛИ» и дальше подаются на схему тройных совпадений. Также измеряются амплитуды сигналов с триггерных сцинтилляционных счётчиков и время их прихода относительно триггера. Для каждого счётчика регистрируются индивидуальные счета. Такая организация триггера и расположение счётчиков обеспечивает триггер от космических частиц со счётом 15 штук в секунду.

Системы приёма данных

После подачи высоковольтного питания на сцинтилляционные счётчики и годоскопы и низковольтного питания на усилители-формирователи включается приёмная электроника в системе сбора данных. Сигналы с фотоэлектронных умножителей (ФЭУ-68) годоскопов подаются на усилители-формирователи и далее по кабелям со скрученными парами на ВЦП. Регистрация сигналов от космических частиц осуществляется циклически

с регистрацией триггеров в течение 10 секунд и считыванием в память в течение 3 секунд. После чего эта информация записывается в файлы с контролируемыми заданными условиями набора. Далее эта информация обрабатывается. Во время набора данных происходит обработка записываемых данных для контроля работоспособности детекторов и предварительного анализа полученных данных в виде гистограмм, таблиц и сообщений об ошибках.

Обработка данных для получения характеристик годоскопов

С годоскопов регистрируются время прихода сигнала с каждого ф.э.у. относительно временной отметки триггера. Из записанной информации создаётся дерево TTree и сохраняется в виде файла с расширением root, далее этот файл открывается с помощью ROOT Data Analysis Framework (<https://root.cern/>) для последующей обработки. Далее получают распределения, представленные на рис.4.

Оптимизация элементов годоскопа для соответствия поставленным требованиям

Ф.э.у. в годоскопах питались от высоковольтных источников. На делители 8-ми подряд расположенных ф.э.у. подавалось одинаковое напряжение, а усиление на отдельных ф.э.у. регулировалось с помощью дополнительного резистора (гасящего), установленного в делителе напряжения перед катодом ф.э.у. После проверки работоспособности ф.э.у. со старыми усилителями были выбраны рабочие напряжения на каждой восьмёрке, при которых собственные шумы ф.э.у. были незначительными. Но при этом эффективность регистрации частиц от космического излучения в зависимости от номера канала заметно менялась. Для того, чтобы это устранить, были проведены измерения при изменении высокого напряжения на восьмёрках в широком диапазоне и с заменой гасящих сопротивлений. Зависимость эффективности каждого ф.э.у. от напряжения определялась из нормированных счетов для каждого канала. Нормировка счетов производилась по числу триггеров, записанных для данного конкретного набора данных с фиксированным напряжением. На рис.5 приводится характерная зависимость эффективности регистрации частиц от напряжения

на ф.э.у. для отдельного сцинтиллятора годоскопа до оптимизации выбранных рабочих напряжений.

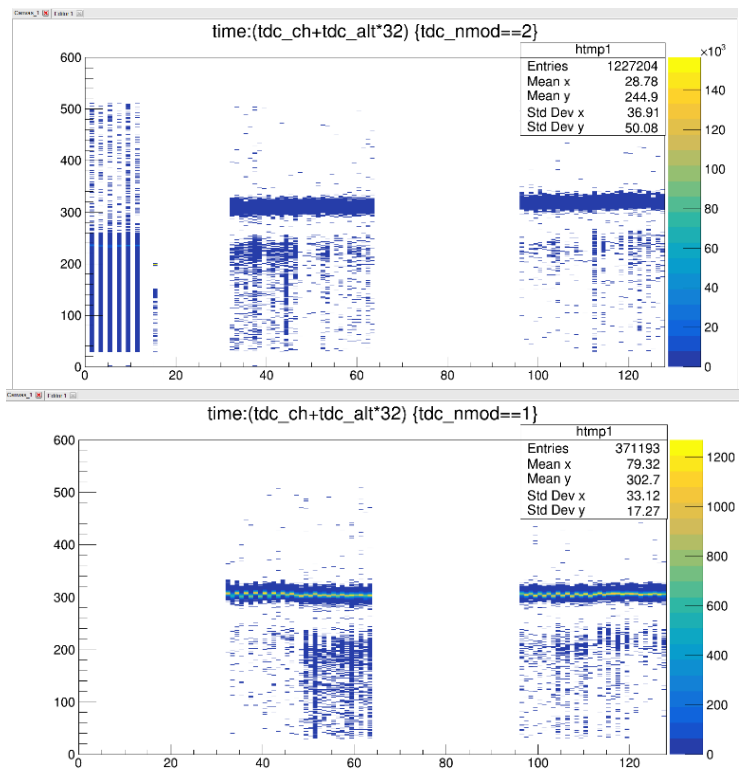


Рис.4. Временные распределения для каждого ф.э.у. в каждом из годоскопов. На верхней гистограмме (слева) временные распределения для каждого из 6 триггерных счётчиков и самого триггера. По оси Y отложено время в каналах для используемых ВЦП с ценой 2 нс на кана, а по оси X отложены номера триггерных счётчиков, сам триггер и номера ф.э.у.

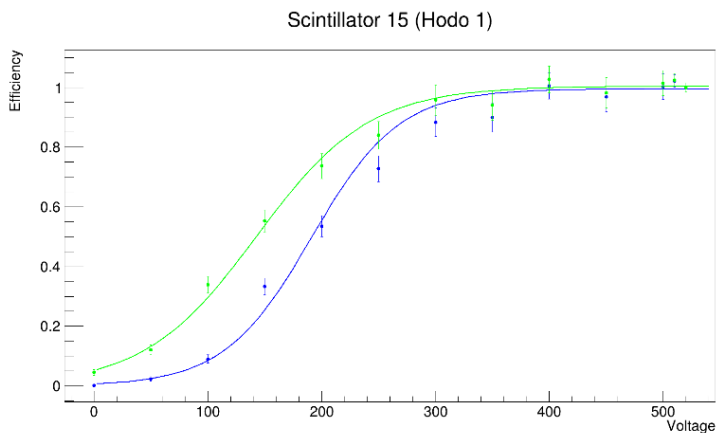


Рис.5. Эффективность регистрации частиц для каждого ф.э.у. одного сцинтиллятора

После нескольких итераций с изменениями напряжения и гасящих резисторов в делителях были выбраны высоковольтные рабочие напряжения для ф.э.у. в обоих годоскопах. Годоскопы готовы для работы с реальным пучком.

Список литературы:

1. Абрамов В.В. и др.// ПТЭ. 1992.Т. 35. № 6. С. 75.
2. Балдин Б.Ю. и др. // ПТЭ. 1992. Т. 6.№ 1. С. 91.
3. Волков А.А. и др. Препринт ИФВЭ 2011-12. Протвино. 2011.
4. Гаркуша В.И. и др. Препринт ИФВЭ 86-147. Протвино. 1986.