

УДК 523.165; 539.1.074

СИСТЕМА СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ПРИБОРА “МОНИКА”

А. В. Бакалдин², С. А. Воронов², А. А. Квашнин¹, А. Н. Квашнин¹,
Е. Ф. Макляев², О. С. Максумов¹, Ю. И. Стожков¹

Рассматривается система сцинтилляционных детекторов в составе спектрометра “МОНИКА” по исследованию потоков ионов космических лучей (КЛ) от H до Ni в диапазоне энергий 10 – 300 МэВ/н в окрестности Земли. Основной задачей эксперимента “МОНИКА” является измерение ионного и изотопного состава галактических и солнечных космических лучей, их энергетических спектров. Этими вопросами занимались многие исследователи [1–10], но до настоящего времени в этой области исследований остается много нерешенных вопросов. Система сцинтилляционных детекторов выполняет важную роль в решении поставленных задач. Обсуждается состав, методика отладки и характеристики детекторов сцинтилляционной системы.

Ключевые слова: энергетические спектры, изотопный состав, космические лучи, сцинтилляционные детекторы, методика эксперимента, электронные схемы.

Спектрометр “МОНИКА”. В работе [11] было дано обоснование методики измерения и идентификации ядер космических лучей (КЛ). Авторами данной статьи создан спектрометр “МОНИКА” для измерения ионного и изотопного состава ядер КЛ (см. также [12, 13]). Спектрометр состоит из четырёх идентичных телескопов-спектрометров, расположенных на единой платформе (четыре телескопа-спектрометра гарантируют высокую надежность прибора). Состав и основные размеры одного из телескопов-спектрометров представлены на рис. 1.

¹ ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр., 53; e-mail: stozhkov@fian.fiandns.mipt.ru, kvashnin37@list.ru.

² Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”, 115409 Россия, Москва, Каширское шоссе, 31.

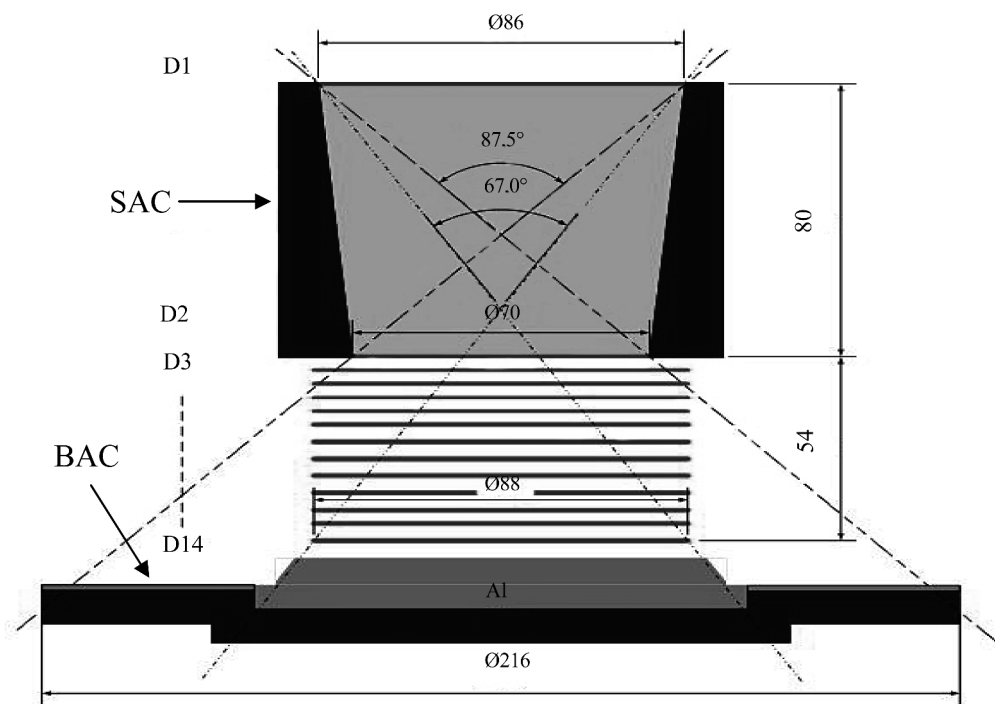


Рис. 1: Схематическое изображение телескопа-спектрометра. Пояснения в тексте.

Каждый телескоп-спектрометр состоит из следующих детектирующих элементов: Имеется 14 круглых полупроводниковых детекторов D1–D14. Диаметры D1, D3–D14 равны 90 мм. Диаметр детектора D2 равен 70 мм. Толщины чувствительных слоев каждого из детекторов D1, D2 составляют 100 мкм, D3–D5 – 300 мкм, D6–D14 – 1000 мкм. Таким образом, суммарная толщина полупроводникового спектрометра-телескопа составляет: $1.01 \text{ см} \times 2.33 \text{ г/см}^3 = 2.35 \text{ г/см}^2$. Детекторы D1, D2 образуют телескоп и определяют телесный угол прибора. Расстояние между детекторами D1 и D2 равно 80 мм. В состав телескопа-спектрометра включены также два сцинтилляционных детектора (СД): верхний SAC с цилиндрической внешней и конусообразной внутренней поверхностью сцинтиллятора и нижний ВАС с круглым плоским сцинтиллятором в виде тарелки.

Сцинтилляционные детекторы. Сцинтилляторы обоих СД заключены в дюрале-вые кожуха толщиной 1 мм. Для обеспечения лучшей равномерности светосбора каждый сцинтиллятор просматривается двумя фотоумножителями (ФЭУ) японской фирмы Хамамацу (R5611A), расположенными на противоположных концах диаметра сцинтиллятора. Нижний СД (ВАС) предназначен для расширения энергетического диапазона полупроводникового калориметра до 300 МэВ/н для ядер железа. Он расположен под

полупроводниковым спектрометром-телескопом и состоит из пластикового сцинтиллятора толщиной 10 мм и диаметром 216 мм с алюминиевым поглотителем над ним толщиной 10 мм. Детектор регистрирует факт выхода частицы из полупроводникового спектрометра-телескопа, когда частица проходит через алюминиевый поглотитель. Поперечные размеры сцинтиллятора выбраны такими, чтобы перекрыть апертуру прибора. Верхний СД (SAC), расположенный между счётчиками D1 и D2, включён в систему антисовпадений и предназначен для режекции ядер, рождающихся в реакциях фрагментации в веществе прибора. Таким образом, система антисовпадений состоит из нижнего СД и верхнего СД, последний расположен между детекторами D1 и D2.

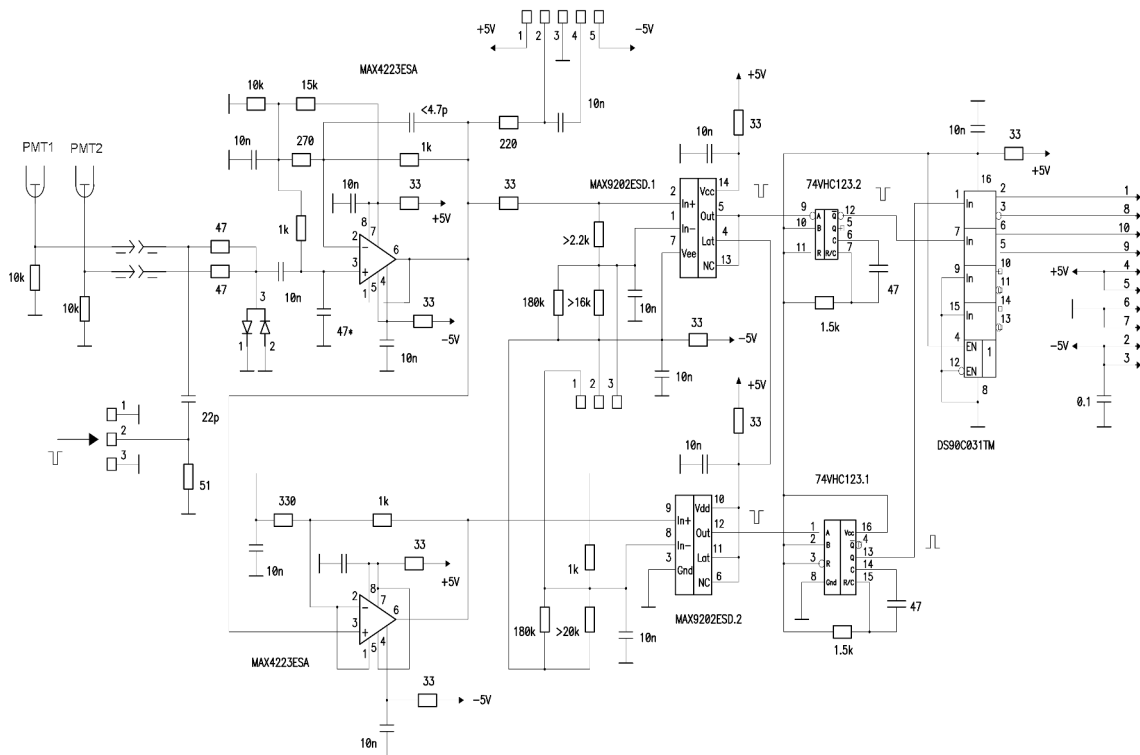


Рис. 2: Электронная схема платы формирователя.

При прохождении частицы через сцинтилляторы на анодах ФЭУ образуются импульсы. Амплитуды импульсов от двух ФЭУ каждого сцинтилляционного детектора суммируются и подаются на входы усилителя платы формирователей (рис. 2). Усиленные импульсы идут на входы двух компараторов с различными порогами 1 и 0.4 мип. (Мип – амплитуда импульса, соответствующего минимальной ионизационной потере энергии частицы.) Далее эти импульсы используются для формирования триггерных импульсов и одновременно записываются в память спектрометра для дальнейшей об-

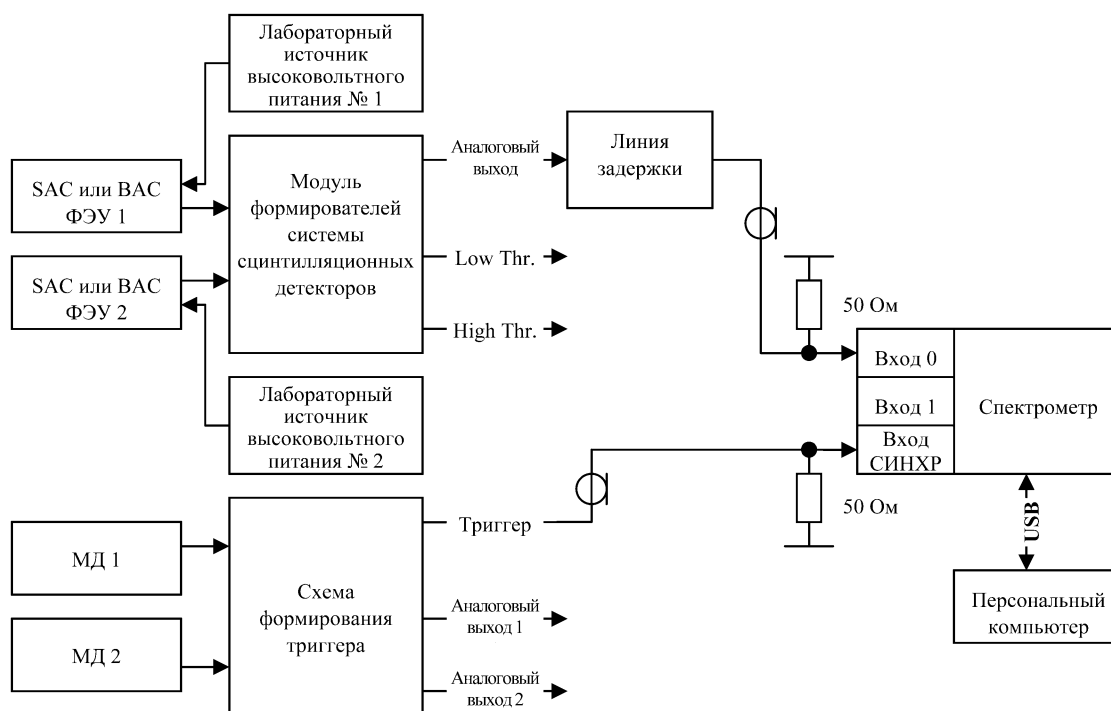


Рис. 3: Блок-схема измерительного калибровочного комплекса детекторов SAC и VAC.

работки. Основной триггер для каждого телескопа вырабатывается при совпадении сигналов с детекторов D1 и D2 и отсутствии сигналов с детекторов SAC и VAC.

Для настройки прибора была разработана специальная методика калибровки сцинтилляционных детекторов, учитывающая как их геометрию, так и задачи в эксперименте. Важной характеристикой детекторов является равномерность светосбора со сцинтилляторов при достаточно сложной их геометрии. Для достижения максимальной равномерности все поверхности сцинтилляторов были отполированы и покрыты диффузно отражающей бумагой типа TYVEK. Для этой же цели на каждый сцинтиллятор были установлены два ФЭУ. Для определения равномерности светосбора проводились измерения амплитуд сигналов от релятивистских частиц, проходящих в различных точках сцинтилляторов. Оказалось, что максимальный разброс амплитуд от релятивистской частицы, проходящей в различных точках как плоского, так и круглого сцинтилляторов, составляет не более 15%. Также проводилось исследование характеристик ФЭУ. Снимались зависимости коэффициентов усиления ФЭУ от напряжения их питания в диапазоне от 600 до 1200 В, чтобы найти напряжения, при которых усиление каждого из двух ФЭУ, устанавливаемых на один и тот же сцинтиллятор, будет примерно одинаковым.

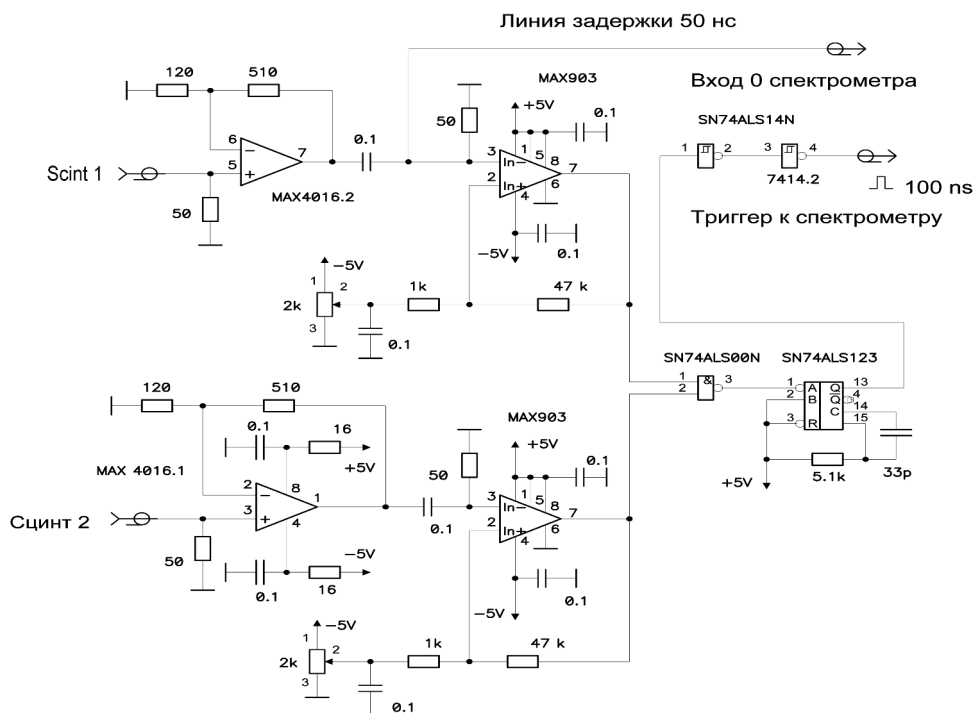


Рис. 4: Принципиальная схема блока электроники для калибровки мониторных счётчиков МД1 и МД2.

Одним из параметров, требующим проверки, является линейность коэффициентов усиления усилителей в каналах формирователей сцинтилляционных детекторов. Для проверки линейности были проведены измерения со световым сигналом от ультрафиолетовых светодиодов, запитанных от генератора. Был определён диапазон амплитуд, где усилители показали достаточно хорошую линейность (не хуже 5%), и это было учтено при настройке формирователя. Оказалось, что на выходе первого усилителя средняя амплитуда сигнала должна быть равной 400 мВ. Для получения такой амплитуды на выходе первого усилителя от однозарядной релятивистской частицы проводилась калибровка детекторов SAC и VAC на мюонах космических лучей. При калибровке детекторов использовались два мониторных сцинтилляционных счётчика (МД1 и МД2), которые, в свою очередь, предварительно калибровались также на мюонах космических лучей. Получение амплитуды сигнала 400 мВ достигалось изменением напряжения питания на ФЭУ.

Блок-схема измерительного калибровочного комплекса детекторов SAC и VAC приведена на рис. 3, а на рис. 4 приведена принципиальная схема блока электроники для калибровки мониторных счётчиков МД1 и МД2.

Пользуясь полученными из эксперимента зависимостями выходных амплитуд сигналов с ФЭУ (при постоянной засветке) от величины подаваемого на делитель напряжения, для каждого сцинтиллятора были подобраны пары ФЭУ с близкими значениями рабочих напряжений при одинаковом коэффициенте усиления. При сборке детекторов в зазор между сцинтиллятором и колбой ФЭУ устанавливались эластичные силиконовые прокладки, имеющие показатель преломления, промежуточный между сцинтиллятором из полистирола и стеклом колбы ФЭУ. Эти прокладки минимизируют потери света. После сборки детекторов были выставлены подобранные напряжения питания на ФЭУ. Затем для каждого ФЭУ измерялись спектры амплитуд сигналов от релятивистских частиц КЛ. Примеры получаемых спектров показаны на рис. 5.

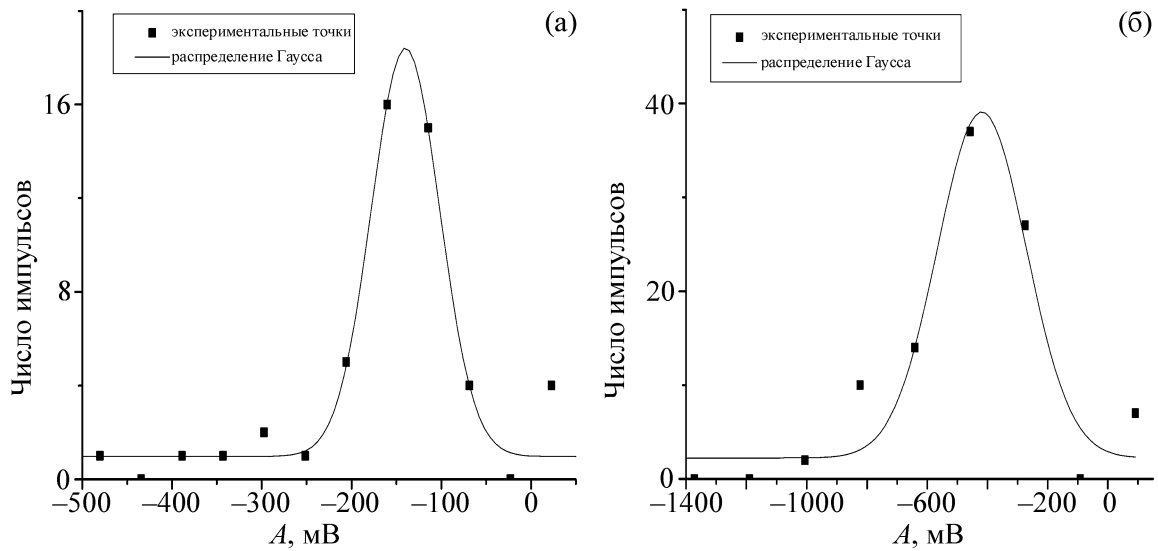


Рис. 5: Спектры амплитуд сигналов, полученные при регистрации космических мюонов: (а) VAC; (б) SAC.

С целью уменьшения разброса амплитуд пары ФЭУ каждого детектора, при необходимости, производилась корректировка питающего напряжения и спектры измерялись ещё раз. Процедура повторялась до тех пор, пока максимумы спектров не сравнивались. Затем измерялся результирующий спектр, и настройка ФЭУ считалась законченной.

Заключение. Создана система сцинтилляционных детекторов для спектрометра-телескопа «МОНИКА». Описаны ее конструкция, отличительные особенности и характеристики. Разработана методика калибровки и настройки системы.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 13-2-00477).

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] S. E. Forbush, Phys. Rev. **70**, 771 (1946).
- [2] J. T. Gosling, J. Geophys. Res. **98**, 18937 (1993).
- [3] E. Möbius et al., in: Proc. 28th Int. Cosmic Ray Conf. (Tsukuba, 2003) (Ed by T. Kajita, Universal Academy Press, Tokyo, 2003) vol. 6, p. 3273 (2003).
- [4] B. Klecker, E. Möbius, M. A. Popecki, et al., Adv. Space Res. **38**(3), 493 (2006).
- [5] W. R. Cook et al., IEEE Trans. GeoSci & Remote Sens. **31**(3), 557 (1993).
- [6] A. V. Bakaldin et al., Astroparticle Phys. **8**, 109 (1997).
- [7] A. Leonov et al., Annales Geophysicae **25**, 2029 (2007).
- [8] M. Garcia-Munoz, G. M. Mason, and J. A. Simpson, Astrophys. J. **182**, 81 (1973).
- [9] M. Garcia-Munoz, G. M. Mason, and J. A. Simpson, Astrophys. J. **202**, 265 (1975).
- [10] F. B. McDonald, B. J. Teggarden, J. H. Trainor, and W. R. Webber, Astrophys. J. **187**, 105 (1974).
- [11] А. В. Бакалдин, С.А. Воронов, А. М. Гальпер и др., Приборы и техника эксперимента, № 4, 27 (2010).
- [12] Kazuoki Munakata, Tsuyoshi Kohno, Takashi Imai, and Masaru Matsuoka, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A **276**, 306 (1989).
- [13] А. В. Бакалдин, Г. А. Базилевская, С. А. Воронов и др., Ядерная физика и инжиниринг **3**(4), 322 (2012).

Поступила в редакцию 4 октября 2014 г.