

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ

УДК 53.082

ПОРТАТИВНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ЗАРЯЖЕННОЙ
КОМПОНЕНТЫ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

© 2022 г. М. В. Филиппов^{a,*}, В. С. Махмутов^{a,b}, О. С. Максумов^a,
А. Н. Квашнин^a, Ю. И. Стожков^{a,b}, С. В. Соков^a

^a Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
Россия, 119991, Москва, Ленинский просп., 53

^b Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)
Россия, 141701, Долгопрудный Московской обл., Институтский пер., 9

*e-mail: mfilippov@frtk.ru, filippovmv@lebedev.ru

Поступила в редакцию 11.04.2022 г.

После доработки 30.05.2022 г.

Принята к публикации 15.06.2022 г.

Представлено описание и приведены технические характеристики портативной научной установки “Galactic Cosmic Rays” (GCR) для детектирования заряженной компоненты космических лучей, разработанной в 2022 г. на Долгопрудненской научной станции ФИАН. В качестве детектирующих элементов использованы газоразрядные счетчики СТС-6, расположенные в два слоя по пять счетчиков. Слой верхних и нижних счетчиков разделены алюминиевым фильтром толщиной 7 мм. Данная установка предназначена для участия в международном эксперименте T13GER (Technological Innovation Into Iodine and GV Environmental Research), направленном на изучение влияния оксидов йода на озоновый слой.

DOI: 10.31857/S0032816222060040

ВВЕДЕНИЕ

В 2006–2017 гг. на Долгопрудненской научной станции (ДНС) ФИАН были разработаны 3 класса установок для изучения вариаций потоков космических лучей (КЛ): CARPET [1, 2], Нейтронный детектор [3] и Гамма-спектрометр [4]. К 2017 г. была создана международная сеть наземной научной аппаратуры, в основу которой легли указанные установки [5]. В настоящее время (2022 г.) данная сеть размещена в четырех научных центрах: ДНС ФИАН (Долгопрудный, Московская область); астрономический комплекс CASLEO (Аргентина); Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (ЕНУ, г. Нур-Султан, Республика Казахстан) и King Abdulaziz City for Science and Technology (KACST, г. Эр-Рияд, Саудовская Аравия).

Установки CARPET предназначены для измерения потоков заряженной компоненты КЛ с помощью газоразрядных счетчиков СТС-6, расположенных в 2 горизонтальных ряда, между которыми размещен алюминиевый фильтр-поглотитель толщиной 7 мм. Основные данные, получаемые на установках CARPET, – скорости счета по трем каналам: суммарный счет всех верхних счетчиков установки (канал UP), суммарный счет всех ниж-

них счетчиков установки (канал LOW) и счет в канале совпадений (канал TEL).

В каналах UP и LOW регистрируются электроны и позитроны с $E > 200$ кэВ, протоны с $E > 5$ МэВ, мюоны с $E > 1.5$ МэВ, фотоны с $E > 20$ кэВ (эффективность регистрации $< 1\%$). В канале TEL регистрируются электроны с $E > 5$ МэВ, протоны с $E > 30$ МэВ и мюоны с $E > 15.5$ МэВ.

Основываясь на опыте, полученном при разработке и эксплуатации установок CARPET, в 2021 г. был разработан новый прибор – GCR. Данная установка входит в состав научной аппаратуры, которая будет установлена на борту самолета для проведения мониторинга стратосферы в рамках международного эксперимента T13GER [6].

Установка GCR выполнена в форме параллелепипеда с размерами $222 \times 146 \times 106$ мм. На корпусе установки расположены разъем питания (28 В постоянного тока) и разъем для передачи данных на борт, а также 3 светодиода-индикатора, визуализирующие наличие импульсов в каналах UP, LOW и TEL. Внутри корпуса расположена материнская плата, на которой находятся: вторичные источники питания, датчики температуры и атмосферного давления, АЦП, микроконтроллер и интерфейс передачи данных RS-232. Также на материнскую плату смонтирован детек-

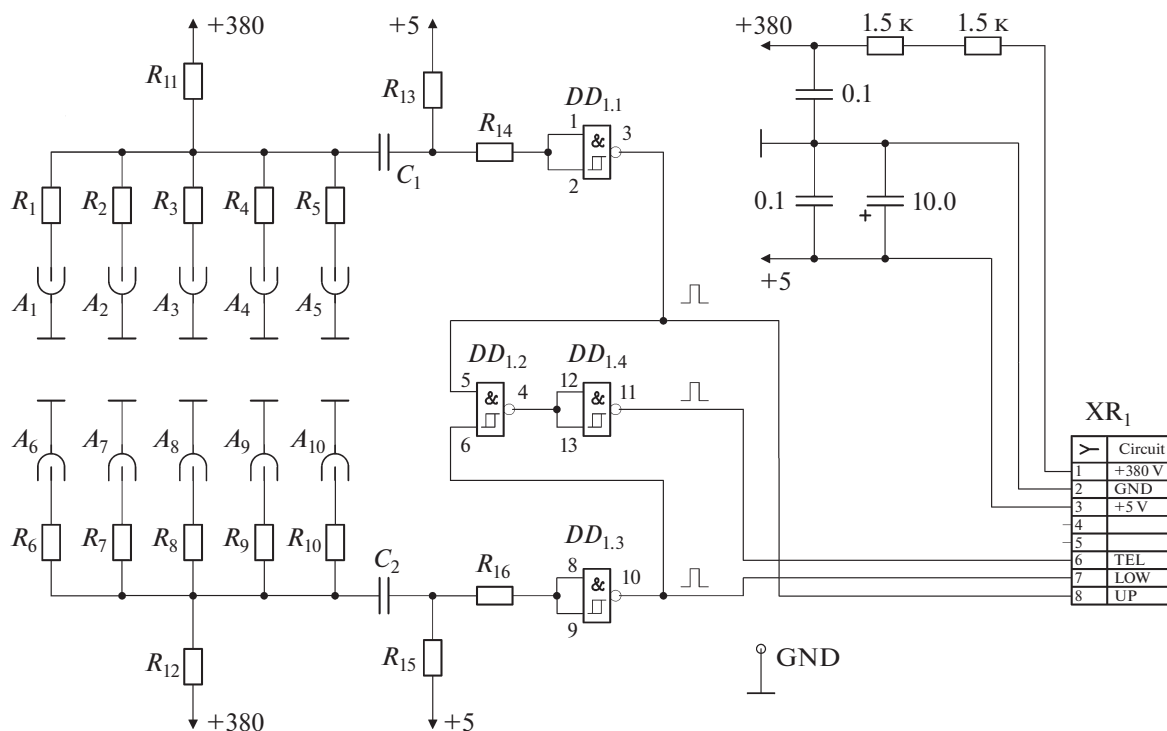


Рис. 1. Принципиальная схема анодной платы детектирующего блока установки GCR.

тирующий блок, состоящий из системы двух горизонтальных слоев счетчиков СТС-6, между которыми расположена алюминиевая пластина толщиной 7 мм, и анодной платы, предназначенной для формирования выходных импульсов счетчиков.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ

На рис. 1 приведена принципиальная схема анодной платы детектирующего блока установки GCR, к которой подключены 10 счетчиков СТС-6: 5 счетчиков в верхнем слое (A_1-A_5) и 5 счетчиков в нижнем слое (A_6-A_{10}). Катоды счетчиков заземлены. Аноды верхних счетчиков объединены через резисторы R_1-R_5 (110 кОм), а нижних – через резисторы R_6-R_{10} (110 кОм). Резисторы R_{11} и R_{12} (2.4 МОм) используются для реализации схемы ИЛИ. Длительность по основанию экспоненциальных импульсов счетчиков СТС-6, регистрируемых через конденсаторы C_1 и C_2 (100 пФ), составляет ~1 мс. После RC-цепочки (использованы резисторы R_{13} и R_{15} номиналом 47 кОм) длительность импульса составляет $\Delta t \approx 10$ мкс. Резисторы R_{14} и R_{16} , по 20 кОм каждый, служат для ограничения тока через входные защитные диоды микросхемы DD_1 . Импульсы верхней и нижней групп счетчиков преобразуются на триггерах Шмитта $DD_{1.1}$ и $DD_{1.3}$ в прямоугольные и, далее, именуется как UP и LOW, соответственно. Схема совпадений

(TEL) реализована на триггерах Шмитта $DD_{1.2}$ и $DD_{1.4}$.

Через разъем XR_1 детектирующий блок подключается к материнской плате (рис. 2). Из бортовых 28 В преобразователь напряжения U_1 (МПВ10В) вырабатывает 12 В. С помощью высоковольтного преобразователя напряжения U_2 (С4900-51) из 12 В вырабатывается 380 В для питания счетчиков детектирующего блока, а с помощью преобразователя напряжения U_3 (МПВ10А) вырабатываются 5 В для питания электроники. Для подстройки высокого напряжения 380 В используется переменный резистор R_1 (50 кОм), а для его контроля – микросхема 12-битного АЦП DD_4 (MCP3201). Микросхема DD_1 (REF192) является источником опорного напряжения АЦП. Для измерения атмосферного давления и температуры использованы цифровые датчики DD_3 (BMP085) и DD_6 (DS18B20) соответственно. Взаимодействие с датчиками и АЦП, а также первичная обработка информации осуществляются микроконтроллером DD_5 (ATmega 168). Данные передаются на борт по интерфейсу RS-232, реализованному с помощью микросхемы DD_7 (MAX-232). Светодиоды VD_1-VD_4 устанавливаются на материнскую плату и обеспечивают визуальный контроль исполнения циклограммы установки: измерение атмосферного давления, температуры внутри корпуса прибора, высокого напряжения для питания

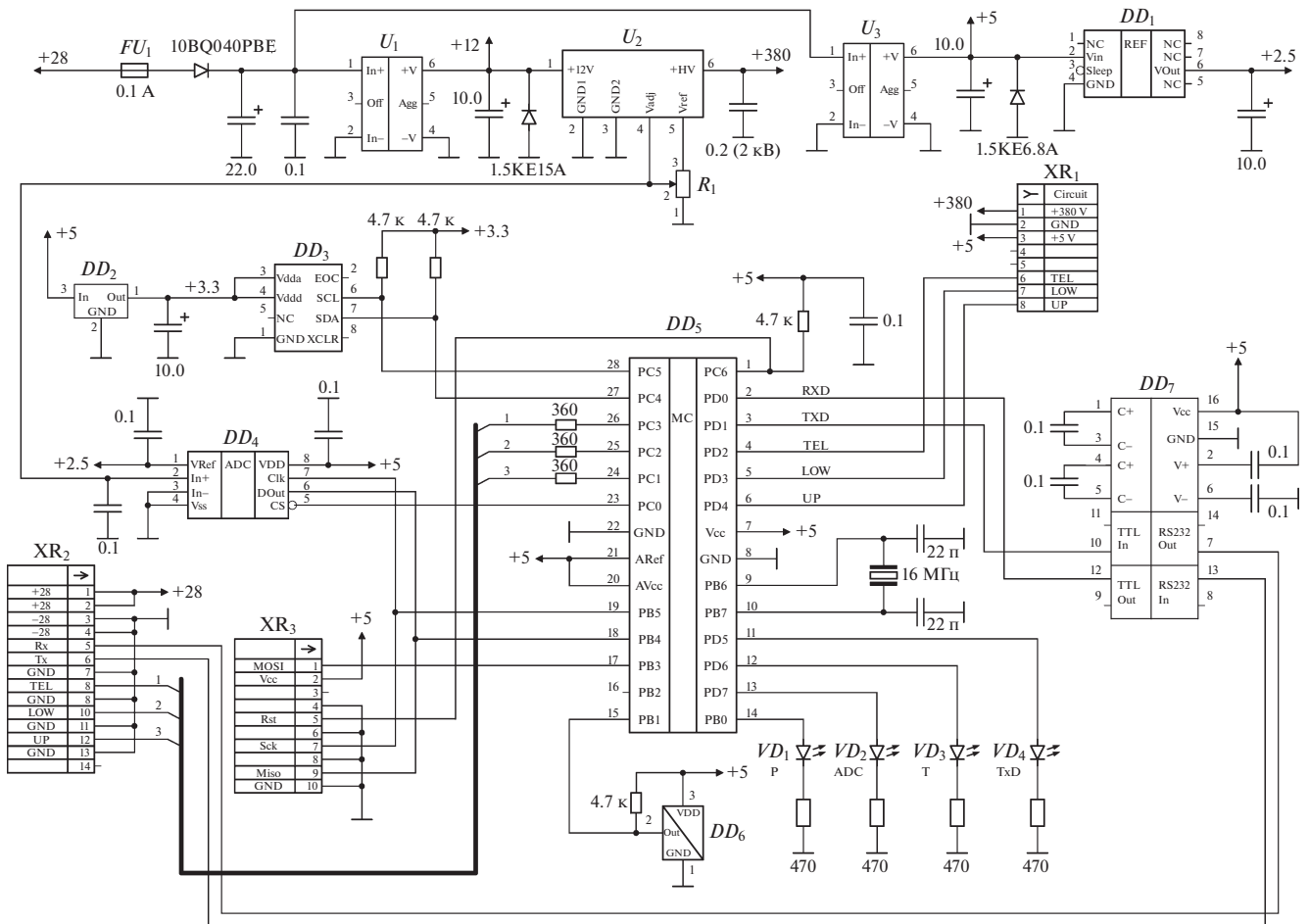


Рис. 2. Принципиальная схема материнской платы установки GCR.

счетчиков, передачу данных. Также на корпусе прибора установлены дополнительные светодиоды: UP, LOW, TEL, которые визуально дублируют импульсы в соответствующих счетных каналах. Сигналы управления светодиодами поступают с выводов PC1–PC3 микроконтроллера DD₅ через резисторы 360 Ом, светодиоды подключены к разъему XR₂.

ФОРМАТ СООБЩЕНИЯ ДАННЫХ

Данные передаются на борт 1 раз в секунду по интерфейсу RS-232 на скорости передачи данных 9600 бод/с. Для этого формируется сообщение (последовательность ASCII-символов) вида: UP <ПРОБЕЛ> LOW <ПРОБЕЛ> TEL <ПРОБЕЛ> T <ПРОБЕЛ> P <ПРОБЕЛ> V <CR> <LF>, где: UP, LOW и TEL, импульсов/с – скорости счета в каналах UP, LOW и TEL, соответственно; T, °C – температура внутри корпуса прибора (с точностью до двух дробных знаков); P, кПа – атмосферное давление (с точностью до двух дробных знаков); V, В – измеренное значение высокого напряжения (с

округлением до целого числа); <CR> – символ возврата каретки; <LF> – символ перевода строки.

ПРОВЕРКА УСТАНОВКИ И НЕКОТОРЫЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Установка GCR испытывалась на ДНС ФИАН с 01.02.22 г. по 03.02.22 г. Для дальнейшего анализа использовались данные, проинтегрированные за минуту. Полученные значения средней скорости счета для каждого канала составили: $N_{UP} = 464.58 \pm 67.96$ импульсов/мин, $N_{LOW} = 463.22 \pm 67.57$ импульсов/мин, $N_{TEL} = 82.56 \pm 14.90$ импульсов/мин. Максимальные значения скорости счета равны: $N_{UP_MAX} = 1855$ импульсов/мин, $N_{LOW_MAX} = 1836$ импульсов/мин, $N_{TEL_MAX} = 361$ импульсов/мин. Стоит отметить, что средние и максимальные значения счета в каналах UP и LOW практически совпадают, что косвенно свидетельствует о корректности работы этих каналов.

Как было указано выше, длительность импульсов $\Delta t \approx 10$ мкс. Так как в каждый канал вхо-

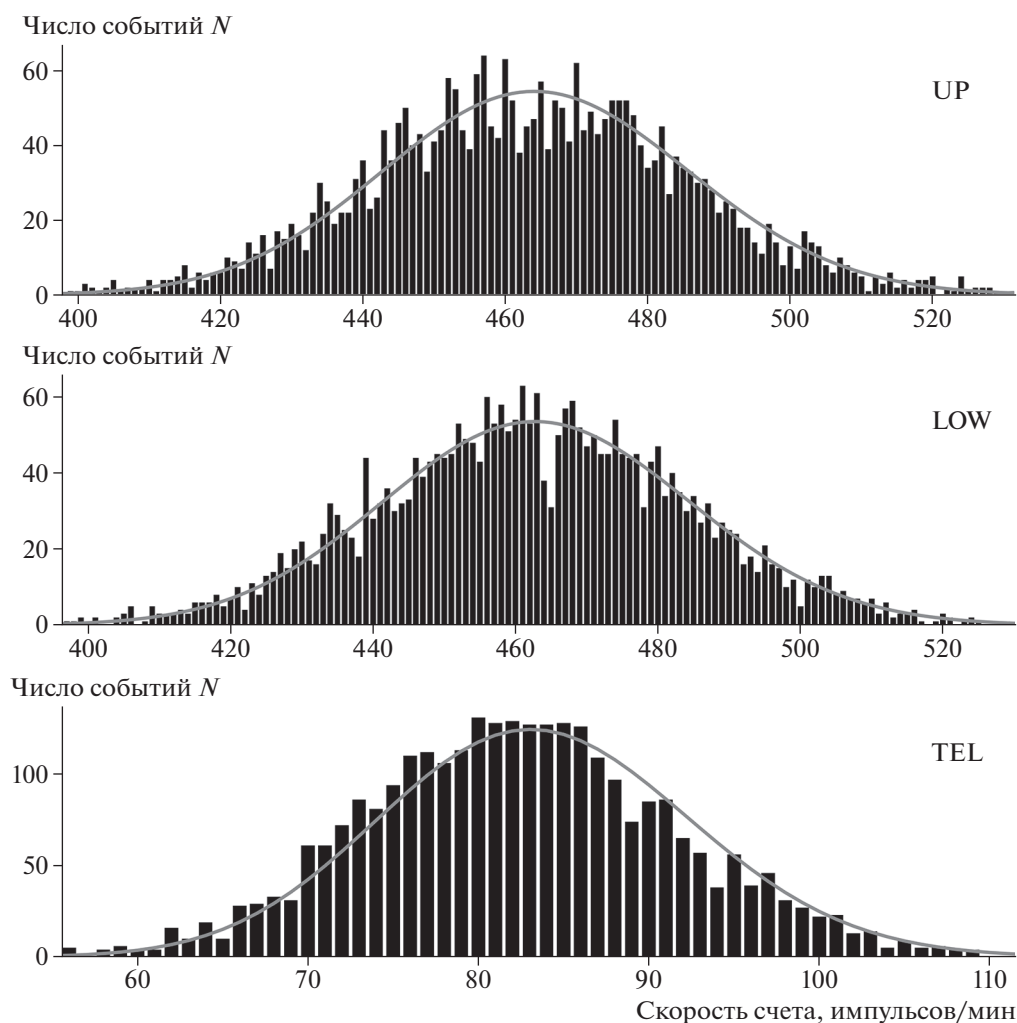


Рис. 3. Гистограммы распределения скоростей счета установки GCR в каналах UP, LOW и TEL. Вертикальные столбцы – результаты, полученные по экспериментальным данным, серая непрерывная линия – расчетное распределение Пуассона.

дят 5 счетчиков, существует вероятность ошибки измерения скорости счета в случае наложения друг на друга близких по времени импульсов от различных счетчиков (на временном интервале $2\Delta t$). Аналогично расчету в публикации [7], для канала UP получим вероятность прохождения двух и более импульсов за время $2\Delta t$, приняв математическое ожидание скорости счета равным максимуму для данного канала: $P(x \geq 2) = 1.87 \cdot 10^{-7}$. Следовательно, вероятность детектирования двух и более частиц за время $2\Delta t$ пренебрежимо мала, и данным эффектом можно пренебречь.

На рис. 3 для каждого канала установки приведено распределение скоростей счета (в импульсах в минуту) по данным за 01.02.22–03.02.22 гг. Сплошной кривой показано расчетное распределение Пуассона. В качестве математического ожидания взяты средние значения скоростей счета для каждого канала. Как видно, для каналов

UP и LOW экспериментально полученное распределение имеет несколько большие отклонения относительно распределения Пуассона, чем данные канала TEL. Вероятно, это связано с существенными величинами среднеквадратичного отклонения средней скорости счета и компенсируется при накоплении статистики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены описание и схемотехническая реализация портативной установки для детектирования заряженной компоненты космических лучей. Данная аппаратура успешно выдержала предварительные испытания и начиная с апреля 2022 г. планируется ее применение в международном эксперименте TIGER.

Стоит отметить, что аналогичные установки как компактный вариант в будущем могут быть

использованы для расширения сети установок CARPET [1, 2, 7, 8]. Небольшие размеры прибора обеспечивают его мобильность и простоту установки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мизин С.В., Махмутов В.С., Максумов О.С., Квашинин А.Н. // Краткие сообщения по физике. 2011. № 2. С. 8.
2. Филиппов М.В., Махмутов В.С., Стожков Ю.И., Максумов О.С. // ПТЭ. 2020. № 3. С. 109. <https://doi.org/10.31857/S0032816220030039>
3. Филиппов М.В., Махмутов В.С., Стожков Ю.И., Максумов О.С., Raulin J.-P., Taczka J. // ПТЭ. 2020. № 5. С. 96. <https://doi.org/10.31857/S0032816220050298>
4. Филиппов М.В., Махмутов В.С., Квашинин А.Н., Максумов О.С., Стожков Ю.И., Raulin J.-P., Taczka J. // ПТЭ. 2021. № 4. С. 74. <https://doi.org/10.31857/S0032816221040030>
5. Квашинин А.Н., Филиппов М.В., Махмутов В.С. // Краткие сообщения по физике. 2022. № 1. С. 16.
6. https://www.eol.ucar.edu/field_projects/ti3ger
7. Philippov M.V., Makhmutov V.S., Stozhkov Yu.I., Maksimov O.S., Bazilevskaya G.A., Morzabaev A.K., Tulekov Ye.A. // Nucl. Instrum. and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2020. V. 959. P. 16356. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2020.163567>
8. Maghrabi A., Makhmutov V.S., Almutairi M., Aldosari A., Altilasi M., Philippov M.V., Kalinin E.V. // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2020. V. 200. P. 105194. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2020.105194>