

УДК 524.1

СПЕКТР КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ, ПОЛУЧЕННЫЙ НА УСТАНОВКЕ ПРИЗМА-32

К. О. Юрин¹, Ф. А. Богданов¹, Д. М. Громушкин¹,
Ю. В. Стенькин^{1,2}, О. Б. Щеголев²

Приводятся результаты измерения спектра широких атмосферных ливней (ШАЛ) по числу зарегистрированных нейтронов, полученные на установке ПРИЗМА-32. Нейтронная компонента образуется при взаимодействии высокоэнергичных адронов ливня с ядрами атомов атмосферы и поверхности Земли. Установка ПРИЗМА-32 состоит из 32 эн-детекторов и работает в непрерывном режиме около 5 лет.

Ключевые слова: широкий атмосферный ливень, нейтронная компонента, тепловые нейтроны.

Нейтронная компонента ШАЛ является практически неизученной из-за того, что до последнего времени не существовало больших и недорогих детекторов нейтронов, пригодных для создания на их основе крупных установок. В свою очередь именно изучение адронной компоненты широких атмосферных ливней, являющейся главной компонентой ШАЛ и определяющей все его основные свойства на уровне наблюдения, способно дать дополнительную информацию о природе наблюдаемого излома в спектре космических лучей.

Проект создания установки для изучения нейтронной компоненты ШАЛ, рождаемой в результате взаимодействия высокоэнергичных адронов ливня с ядрами среды, был предложен около 15 лет назад [1]. В 2012 году на базе уникальной научной установки НЕВОД (НИЯУ МИФИ) в сотрудничестве с ИЯИ РАН была создана установка ПРИЗМА-32 [2] из 32 эн-детекторов, способных одновременно регистрировать две основные компоненты ШАЛ – электронную (э) и нейтронную (н).

На установке ПРИЗМА-32 были получены первые данные о временном и пространственном распределении нейтронов в ШАЛ. Временное распределение нейтро-

¹ НИЯУ МИФИ, 115409 Россия, Москва, Каширское ш., 31.

² ИЯИ РАН, 117312 Россия, Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а; e-mail:KOYurin@mephi.ru.

нов в ШАЛ описывается двойной экспоненциальной функцией с параметрами $t_1 = 0.49 \pm 0.01$ мс и $t_2 = 3.44 \pm 0.2$ мс. Первая экспонента связана со средним временем жизни нейтронов, выходящих из-под детектора, т.е. локально рожденных, а вторая имеет связь с нейтронами, рожденными в результате взаимодействия адронной компоненты с крышей или стенами здания [3]. Получена связь между энерговыделением от заряженной компоненты ШАЛ и числом зарегистрированных нейтронов (число зарегистрированных нейтронов достигает сотни на 32 детекторах при регистрации $\sim 10^6$ заряженных частиц [4]). Измерено пространственное распределение (ФПР) нейтронов, которое так же, как и временное распределение, можно описать двойной экспоненциальной функцией с параметрами экспонент $r_1 = 1$ м и $r_2 = 10.5$ м [5].

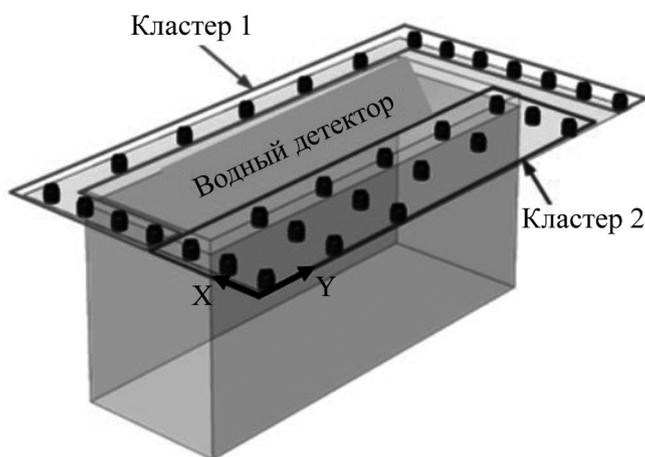


Рис. 1: Схема установки ПРИЗМА.

Установка ПРИЗМА-32 расположена внутри экспериментального здания на уровне 4-го этажа и состоит из двух независимо работающих кластеров по 16 эн-детекторов (рис. 1). Неравномерное расположение детекторов обусловлено свободным пространством в экспериментальном комплексе, в котором работают другие установки, в том числе черенковский водный детектор (в центре) [6]. Расстояние между детекторами составляет 2.5 (по оси X) и 5 м (ось Y). Общая площадь установки составляет около ~ 500 м². Диапазон измерений по заряженным частицам от 20 до 75000 частиц на детектор, диапазон по нейтронам от 1 до 1000 нейтронов на один детектор.

Для регистрации нейтронов ШАЛ используется детектор с тонким неорганическим сцинтиллятором ZnS(Ag) и LiF, где Li обогащен до 90% изотопом ⁶Li. Схема детектора представлена на рис. 2. Площадь каждого эн-детектора составляет 0.36 м². Съём информации осуществляется с двух динодов ФЭУ: 12-й динод используется для реги-

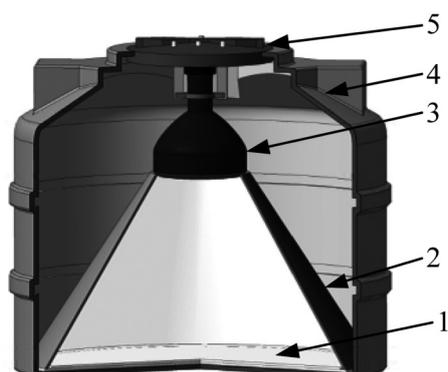


Рис. 2: Схема эн-детектора: 1 – сцинтиллятор; 2 – светособирающий конус; 3 – ФЭУ-200; 4 – светонепроницаемый корпус; 5 – крышка корпуса.

страции электронно-фотонной и нейтронной компонент ШАЛ, а 7-й используется для увеличения динамического диапазона от заряженной компоненты. Все импульсы интегрируются в предусилителе с постоянной времени, равной 1 мкс.

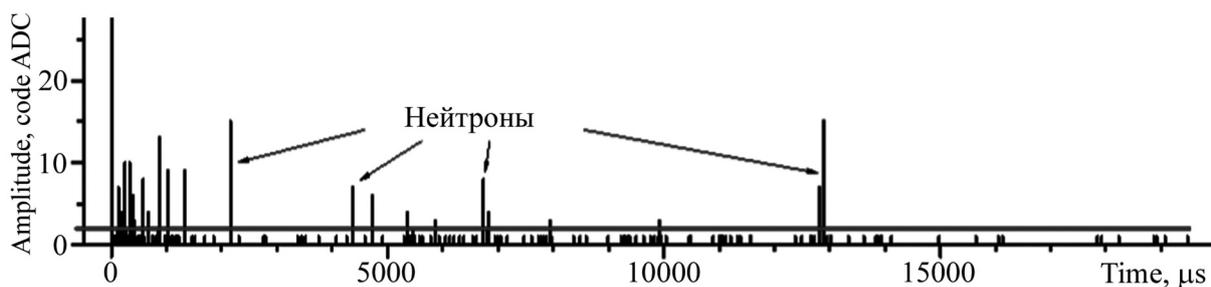


Рис. 3: Осциллограмма зарегистрированного события ШАЛ.

Триггером на сохранение данных является регистрация фронта ШАЛ, совпадение двух и более детекторов в кластере, уровень сигнала в которых превысил 4 мВ (20 заряженных частиц). Оцифровка сигналов с детектора осуществляется с использованием быстродействующих АЦП, которые работают на частоте 1 МГц (в случае регистрации ШАЛ сохраняется осциллограмма 20000 точек). Пример осциллограммы (для одного детектора) при регистрации ШАЛ представлен на рис. 3.

В первые 100 мкс определяется энерговыделение от прохождения заряженных частиц (фронта ливня), а с 100 мкс до 20000 мкс – запаздывающие нейтроны. Нейтроном считается сигнал, величина которого превышает 8 мВ. Сигнал от заряженных частиц, нейтрона, от естественного фона и шума ФЭУ может удовлетворять условиям регистрации нейтронов ШАЛ, но их число не превышает одного импульса на 20 событий. Он-

лайн программа анализирует осциллограммы и определяет в каждом детекторе: энерговыделение от прохождения заряженных частиц, число зарегистрированных нейтронов и время их регистрации после фронта ШАЛ с шагом 100 мкс.

В обработке данных использовалась информация за 5 лет работы установки ПРИЗМА-32. Время работы установки составляет около 95% от календарного времени.

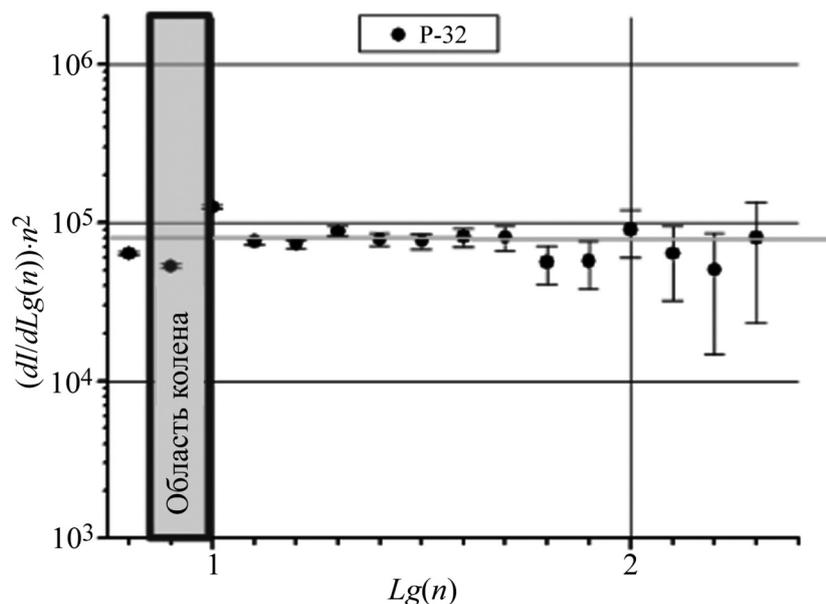


Рис. 4: Спектр ШАЛ по числу нейтронов n , измеренный на установке ПРИЗМА-32.

В результате проведенной обработки данных получен спектр ШАЛ по числу нейтронов, т.е. зависимость числа отобранных событий I от числа n нейтронов в них, который подчиняется степенному закону с показателем наклона $\beta = 2.0$ (рис. 4, для наглядности ось Y помножена на n^2). Поскольку число нейтронов в ШАЛ пропорционально числу адронов [7], полученный результат можно сопоставить с данными спектров ШАЛ по числу адронов. В 2001 году в работе [8] был опубликован экспериментальный спектр по числу адронов в ШАЛ, полученный на калориметре KASCADE. Показатель наклона спектра адронов, измеренный в этой работе, составил от 1.9 до 2.0 в зависимости от энергии ШАЛ.

Заключение. Получен спектр ШАЛ по числу зарегистрированных нейтронов в ПэВ-ной области энергий первичных частиц, зарегистрированных установкой ПРИЗМА-32, имеющий степенной вид с интегральным показателем -2.0 . Полученное значение показателя хорошо согласуется с опубликованными в литературе экспериментальными данными для адронов ШАЛ.

Работа выполнена в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-7597.2016.2) на уникальной научной установке “Экспериментальный комплекс НЕВОД”, а также при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 16-32-00054 и 16-29-13067).

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] Yu. V. Stenkin and J. F. Valdes-Galicia, Proc. 27th ICRC (Hamburg) **4**, 1453 (2001).
- [2] D. M. Gromushkin et al., Journal of Instrumentation **9**, C08028 (2014).
- [3] Д. М. Громушкин и др., Известия РАН. Серия физическая **79**(3), 414 (2015).
- [4] D. M. Gromushkin et al., J. Phys.: Conf. Ser. **409**, 012044 (2013).
- [5] O. B. Shchegolev et al., J. Phys.: Conf. Ser. **718**, 052038 (2016).
- [6] А. А. Петрухин, Успехи физических наук **185**(5), 521 (2015).
- [7] Д. М. Громушкин и др., Известия РАН. Серия физическая **77**(5), 704 (2013).
- [8] J. R. Hörandel et al., Proc. 27th ICRC (Hamburg) **1**, 137 (2001).

По материалам VI Международной молодежной научной школы-конференции “Современные проблемы физики и технологий”.

Поступила в редакцию 20 сентября 2017 г.