

О.А. Каликулов^{1*}, Н.О. Садуев^{1,2}, С.Б. Шаулов², А.Н. Седов¹,
В.В. Оскомов¹, Н.О. Ережеп¹, А.Е. Бактораз¹, Ш.Б. Утей¹,
А.И. Жумабаев¹, Е.С. Мухамеджанов³, С.К. Шинбулатов¹

¹НИИЭТФ, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН), Россия, г. Москва

³Объединенный институт ядерных исследований, Россия, г. Дубна

*e-mail: orazaly_82@mail.ru

ПРОТОТИП УСТАНОВКИ ВРЕМЕННЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСИ ПРИХОДА ШАЛ

В данной работе представлен прототип конструкции для определения направления оси широких атмосферных ливней (ШАЛ). Данная детекторная система состоит из четырех индивидуальных детекторов на основе сцинтилляторов (100 x 100 x 1 см), использующих для сбора света световоды со смещением длины волны. Указанный прототип позволит на его основе создать систему детекторов с быстрым отсчетом времени (временными детекторами) и дополнит комплексную установку ШАЛ, расположенную на высоте 3340 м над уровнем моря на ТШВНС (Тянь-Шаньская высокогорная научная станция) недалеко от города Алматы, Казахстан.

Описан метод определения направления широких атмосферных ливней. Указано, что для оценки определения направления широких атмосферных ливней необходимо определить азимутальный и зенитный углы с требуемой точностью. Используется геометрия установки по схеме расположения детекторов крест на крест.

В работе представлена калибровка детекторов вертикальными космическими мюонами. Для калибровки детекторов был собран испытательный стенд и приведено его схематическое изображение. Сигналы от сцинтилляционных детекторов анализировались с помощью 8-канального аналогового цифрового преобразователя CAEN DT 5725. Также в статье проводится обсуждение предварительных результатов калибровочных результатов. Одностатичная калибровка детекторов позволит оценить количество прошедших частиц через сцинтилляционный детектор.

Ключевые слова: широкие атмосферные ливни, сцинтилляционный детектор, амплитудный сигнал.

O.A. Kalikulov^{1*}, N.O. Saduyev¹, S.B. Shaulov², A.N. Sedov¹,
V.V. Oskomov¹, N.O. Yerezhep¹, A.Y. Baktorz¹, Sh.B. Utey¹,
A.I. Zhumabayev¹, Y.S. Mukhamejanov³, S.K. Shinbulatov¹

¹IETP, Al-Faraby Kazakh National University, Kazakhstan, Almaty

²P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow

³Joint Institute for Nuclear Research, Russia, Dubna

*email: orazaly_82@mail.ru

Timing detectors setup prototype for determining EAS axis direction

This work presents a prototype setup for determining extensive air showers (EAS) axis direction. The detector system consists of four scintillation detectors (100x100x1 cm) using wavelength-shifted fibers light collection. This prototype will make it possible to create system of detectors with fast timing (timing detectors) and supplement the complex shower installation, located at 3340 m above sea level at the Tien Shan High-altitude Scientific Station (TSHSS) near Almaty, Kazakhstan.

A method for determination the direction of extensive air showers is described. It is indicated that to assess the determination of extensive air showers direction, it is necessary to define azimuth and zenith angles with required accuracy.

In this work, calibration of detectors with vertical cosmic muons is presented. To calibrate the detectors, a test bench was assembled, and its schematic representation is shown. The signals from scintillation detectors were analyzed using a CAEN DT 5725 8-channel analog-to-digital converter. In addition, there is a discussion of the preliminary results from calibration. Single-particle calibration of detectors will allow estimating the number of particles passed through the scintillation detector.

Key words: extensive air showers, scintillation detector, amplitude signal.

О.А. Каликулов^{1*}, Н.О. Садуев¹, С.Б. Шаулов², А.Н. Седов¹,
В.В. Оскомов¹, Н.О. Ережеп¹, А.Е. Бақтораз¹, Ш.Б. Утей¹,
А.И. Жумабаев¹, Е.С. Мухамеджанов³, С.К. Шинбулатов¹

¹ЭТФҒЗИ, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

²Ресей ғылым академиясы П.Н. Лебедев атындағы физикалық институты, Ресей, Мәскеу қ.

³Біріккен ядролық зерттеулер институты, Ресей, Дубна қ.

*e-mail: orazaly_82@mail.ru

КАН түсу осін анықтаудағы уақыт детекторлары қондырғысының прототипі

Бұл жұмыста кең атмосфералық нәсерлердің (КАН) ось бағытын анықтауға арналған прототипі ұсынылады. Детектрлік жүйе толқын ұзындығының ығысуымен жарық жинайтын төрт жеке сцинтилляторлық детектордан тұрады (100 x 100 x 1 см). Көрсетілген прототип оның негізінде уақытты жылдам есептейтін детекторлар жүйесін (уақыт детекторлары) құруға мүмкіндік береді және теңіз деңгейінен 3340 м биіктікте орналасқан ТШБТҒС-ғы (Тянь-Шань биік таулы ғылыми станциясы) Алматы, Қазақстан, ШАЛ кешенді қондырғысын толықтырады.

Кең атмосфералық нәсерлердің бағытын анықтау әдісі сипатталған. Кең атмосфералық нәсерлердің бағытын анықтауды бағалау үшін азимутты және зениттік бұрыштарды тиісті дәлдікпен анықтау қажет екендігі көрсетілген. Детекторлардың бір-біріне қарама-қарсы орнатылған геометриялық схемасы қолданылады.

Жұмыста детекторларды тік ғарыштық муондармен калибрлеу ұсынылған. Детекторларды калибрлеу үшін сынақ стенді жиналып, оның схемалық бейнесі келтірілген. Сцинтилляциялық детекторлардың сигналдары 8 арналы CAEN DT 5725 аналогты сандық түрлендіргіші арқылы талданды. Сонымен қатар графиктер көрсетілген. Сондай-ақ, калибрлеу нәтижелерінің алдын ала нәтижелерін талқылау бар. Детекторлардың бір бөлшекті калибрлеуі сцинтилляциялық детектор арқылы өткен бөлшектердің санын бағалауға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: кең атмосфералық нәсерлер, сцинтилляторлық детектор, амплитудалық сигнал.

Введение

ШАЛ – это вторичные космические лучи, возникающие в результате взаимодействия высокоэнергичных первичных космических лучей с атмосферой Земли. В ТШВНС есть несколько установок для исследования ШАЛ: установка Horizon-T, HADRON-55, толчковая установка (ТУ) и др.

Назначение текущего прототипа детекторной системы – определение направления оси ШАЛ. Регистрация с помощью четырех детекторов позволит учесть влияние флуктуаций фронта ШАЛ при определении зенитного и азимутального углов при анализе временных поверхностей методом минимизации [1-7].

В последствии предлагается дополнить имеющиеся установки (ГОРИЗОНТ-T, калориметр и толчковую установку (ТУ)) путем интеграции в них быстрых временных детекторов. Быстрые временные детекторы будут изготавливаться с учетом всех параметров которые будут отработаны на предлагаемом прототипе. Детектор будет состоять из оптических стекол в которых заряженные частицы генерируют импульсы черенковского света длительностью 100 пикосекунд. Создание системы временных

детекторов на каждой установке обеспечит определение параметров ШАЛ. То есть, позволит отбирать ШАЛ с осями внутри этого комплекса, надежно определить долю необычных ливней с несколькими фронтами и зависимость этой доли от первичной энергии.

В экспериментах были зарегистрированы широкие атмосферные ливни (ШАЛ) с несколькими фронтами отстоящими друг от друга на сотни наносекунд. На текущий момент ядерным составом космических лучей (КЛ) объяснить этот эффект невозможно. Японские физики предположили наличие в КЛ тяжелых адронов. Установка ГОРИЗОНТ-T располагается и работает на Тянь-Шанской высокогорной научной станции (ТШВНС, Алматы, Казахстан). В эксперименте АДРОН на ТШВНС были получены указания на возможность существования в КЛ супертяжелых гипотетических частиц странной кварковой материи — странглетов [8-12]. В этой связи представляется крайне перспективным более детальное изучение ШАЛ с несколькими задержанными фронтами.

Необходимо создать быстрые временные детектора заряженных частиц с временем разрешения 5-6 нс. Для регистрации световых импульсов должны использоваться ФЭУ типа НА-

МАМАТСУ E5859-19 с временем нарастания импульса 2,5 нс. Предполагается что такая система позволит получить разрешающее время достаточное для точного определения углов прихода оси ШАЛ с высокой точностью.

Создание системы временных детекторов на каждой установке (Калориметр и толчковая установка) обеспечит определение одного из параметров – оси ШАЛ [13-20].

Методика и методы исследования

Детекторная система

Данный прототип детекторной системы предназначен для определения зенитных и азимутальных углов прихода оси ШАЛ. Сцинтилляционные детекторы, использующие для сбора света волокна со смещением длины волны, являются рабочим телом, их взаимное расположение схематично показано на Рисунке 1. Каждый сцинтилляционный детектор имеет размеры 1000 × 1000 × 10 мм (Рисунок 2).

Метод определения направления широких атмосферных ливней

Чтобы оценить направление широких атмосферных ливней, необходимо определить азимутальный и зенитный углы. Для этого используется расположение каждого детектора. Если предположим, что фронт ливня плоский, то формула плоскости записывается следующим образом:

$$ax + by + cz + d = 0, \quad (1)$$

где a, b, c – координаты нормального вектора, $a^2 + b^2 + c^2 = 1$. Поскольку в нашей задаче детекторы расположены на одном уровне, координата

$z = 0$. Расстояние от i -го детектора с координатами x_i, y_i и z_i до плоскости ливня равно:

$$\delta_i = ax_i + by_i + cz_i + d,$$

где $\delta_i = t_i * c$, t_i – относительное время отклика i -го детектора (нс), c – скорость света. Затем, используя метод наименьших квадратов и метод Крамера, найдем коэффициенты a, b, c . Таким образом, углы прихода ливня определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \theta &= \arccos(c), \\ \varphi &= \arctg(b/a). \end{aligned} \quad (2)$$

Калибровка сцинтилляционных детекторов для прототипа временных детекторов

Одним из важных параметров детектора при регистрации электромагнитной компоненты ШАЛ является получение количественной характеристики амплитудного сигнала на прохождение мюона. С целью получения количественной характеристики амплитудного сигнала был собран стенд для калибровки сцинтилляционного детектора (Рисунок 3). Калибровка сцинтилляционных детекторов была проведена на космических мюонах.

Сцинтилляционный свет собирается световодами со сдвигом по длине волны, а затем регистрируется фотоумножителями ФЭУ-115М [2]. Сигналы от ФЭУ анализировались с помощью 8-канального цифрового преобразователя CAEN DT 5725 (14 бит, 500 Мб/с) [3].

Формирование триггера идет от первого и третьего детекторов включенных в схему совпадений (одновременное срабатывание 1 и 3 детектора) и данный триггер инициирует запуск АЦП для записи от второго детектора.

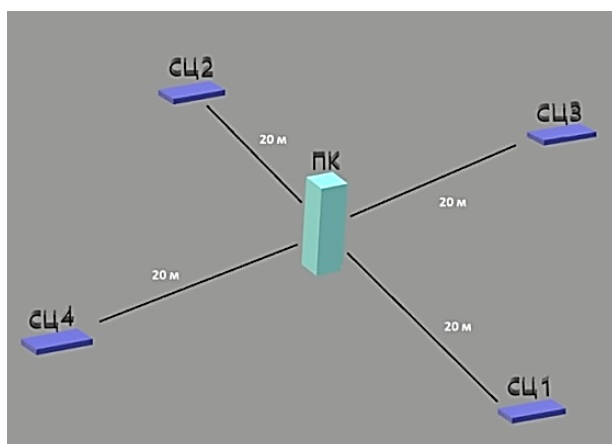


Рисунок 1 – Расположение сцинтилляционных детекторов



Рисунок 2 – Общий вид сцинтилляционного детектора

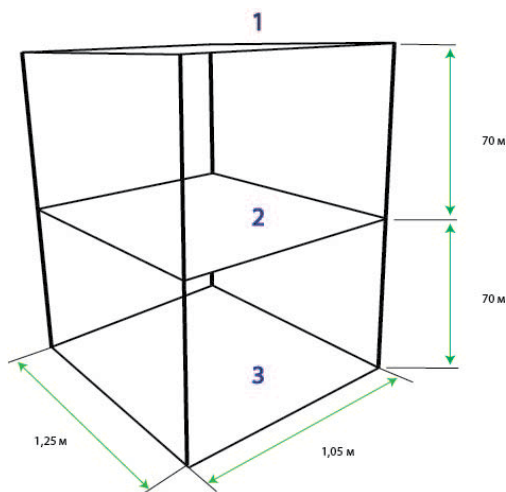


Рисунок 3 – Стенд для одночастичной калибровки сцинтилляционных детекторов

Результаты и обсуждение

Проведена предварительная одночастичная калибровка одного сцинтилляционного детектора. Время нарастания определяется как временной интервал между 10% и 50% площади пика, а общая ширина определяется как временной интервал между 10% и 80%.

Причина этих определений состоит в том, чтобы четко определить начало импульса выше любого минимального уровня шума, использовать среднюю площадь в качестве определения “центра” и отрезать возможные длинные хвосты от кабелей (Рисунок 4).

Одним из недостатков вышеуказанного метода одночастичной калибровки является боль-

шая площадь верхнего и нижнего детектора, так как возможна вероятность прихода одновременно нескольких частиц в эту площадь, однако этот недостаток частично компенсируется быстрым набором статистики прошедших частиц через все три детектора. Для улучшения этой методики в будущем предполагается дополнить данный стенд небольшим мюонным телескопом (в сравнении с действующей установкой по калибровке), который позволит нам провести более точную одночастичную калибровку.

Примененная методика по одночастичной калибровке сцинтилляционных детекторов позволит впоследствии оценить количество прошедших частиц через рабочую площадь детектора.

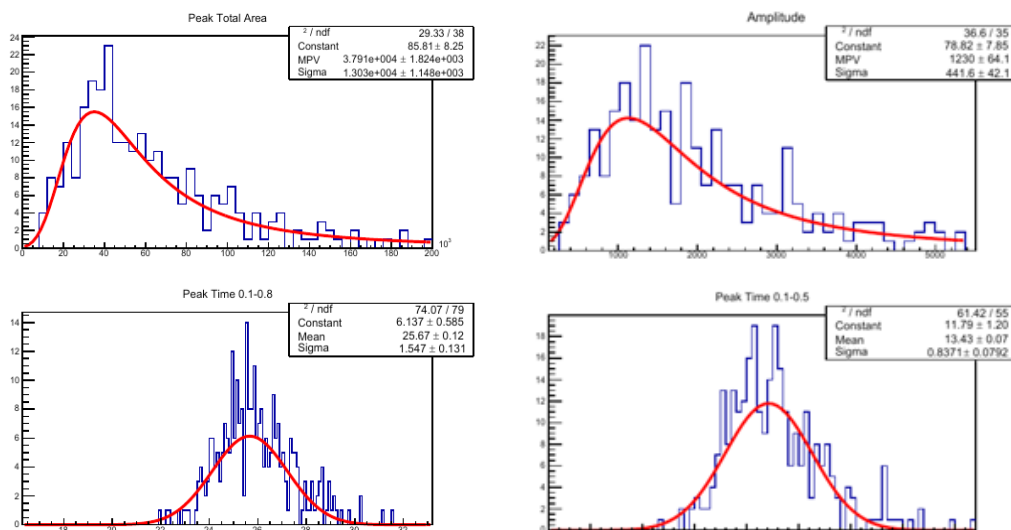


Рисунок 4 – Одночастичная калибровка сцинтилляционного детектора системы

Заключение

Проведена калибровка сцинтиляционно-го детектора. Получены и проанализированы предварительные калибровочные данные от детектора. Временное разрешение полученное по данным проведенной калибровки позволяет с хорошей точностью оценить углы прихода оси ШАЛ. Точность этого измерения будет из-

учена по мере поступления дополнительных данных.

Благодарность

Работа поддержана грантом Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан AP09058049 «Исследование широких атмосферных ливней с запаздывающими фронтами».

Литература

- 1 Beisembaev R. et al., Extensive Air Showers with Unusual Spatial and Temporal Structure // in proceedings of EPJ Web of Conferences. – 2019. – Vol. 208. – 06002 (1-4).
- 2 MELZ-FEU, 4922-y pr-d, 4c5, Zelenograd, g. Moskva, Russia, 124482. <http://www.melz-feu.ru>.
- 3 CAEN S.p.A. Via della Vetraia, 11, 55049 Viareggio Lucca, Italy. <http://caen.it>.
- 4 Prokopenko N.N. Dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, 2020.
- 5 Eiji Kido et al, The TAx4 experiment //35th International Cosmic Ray Conference – ICRC2017. – 2017. – POS 386 (1-8).
- 6 Шульженко И.А. и др. Центральная часть установки НЕВОД-ШАЛ: первые результаты // Известия РАН. Серия Физическая. – 2017. – № 4. – 524 с.
- 7 Шульженко И.А. и др. Статус эксперимента НЕВОД-ШАЛ // Известия РАН, Серия физическая. – 2015. – № 3. – С. 710–712.
- 8 Ampilogov N.V., Denisov S.P., Kokoulin R.P., Petrukhin A.A., Prokopenko N.N., Shulzhenko I.A., Unatlov I.B., Yashin I.I. Multisector scintillation detector with fiber-optic light collection // Journal of Instrumentation. – 2017. – Vol. 12(7). – C07004.
- 9 Aynutdinov V.M., Bonifazi C.B., Creusot A. et al., The Pierre Auger surface detector LED flashers and their use for monitoring and calibration // Proceedings of the 28th International Cosmic Ray Conference. – 2003. – P. 825-828.
- 10 Хохлов С.С. и др. Современный статус черенковского водного детектора НЕВОД // Труды III Черенковских чтений: Новые методы в экспериментальной ядерной физике и физике частиц. – М.: ФИАН, 2010. – 30 с.
- 11 Богданов А.Г. и др. Исследование характеристик потока и взаимодействия космических лучей сверхвысоких энергий с помощью метода спектров локальной плотности мюонов // Ядерная физика. – 2010. – № 11. – 1904 с.
- 12 Rodriguez G. A measurement of the muon number in showers using inclined events detected at the Pierre Auger Observatory // EPJ Web of Conferences. – 2013. – Vol. 53. – 7003.
- 13 Shulzhenko I.A. et al. Proposal of NEVOD-EAS shower array. // Journal of Physics. Conference Series. – 2013. – Vol. 409. – 012098.
- 14 Bogdanov A.G. et al. New approach to muon investigations in inclined EAS // Nuclear Physics B. – 2008. – P. 342.
- 15 Барбашина Н.С. и др. Широко апертурный мюонный годоскоп большой площади УРАГАН // Приборы и техника эксперимента. – 2008. – № 2. – 26 с.
- 16 Антононов Б.В. и др. Тунка-133 – новая установка для исследования космических лучей сверхвысоких энергий // Известия РАН, серия физическая. – 2011. – Т. 75. – С.710-712.
- 17 Peter K. F. Grieder. Extensive Air Showers: High Energy Phenomena and Astrophysical Aspects – A Tutorial //Reference Manual and Data Book. – 2010. – 255 p.
- 18 Jhansi V.B. et al., Measuring the hourly gain of the scintillator detectors from EAS data // Proceedings of Science 356. Сайт эксперимента GRAPES-3: <http://grapes-3.tifr.res.in>.
- 19 Haungs A. et al., Two Decades of KASCADE and KASCADE-Grande Measurements: Some Achievements // Proc. 34th ICRC. – 2015. – 278.
- 20 Radomír Šmída Scintillator detectors of Auger Prime // 35th International Cosmic Ray Conference – ICRC2017. – 2017. http://www.auger.org/archive/authors_icrc_2017.html.

References

- 1 R. Beisembaev et al., in proceedings of EPJ Web of Conferences, 208, 06002 (1-4) (2019)
- 2 MELZ-FEU, 4922-y pr-d, 4c5, 124482 <http://www.melz-feu.ru>.
- 3 CAEN S.p.A. Via della Vetraia, 11, 55049. <http://caen.it>.
- 4 N.N. Prokopenko Dissertation for the degree of candidate of physical and mathematical sciences, 2020.
- 5 Kido Eiji et. all. ICRC2017, POS 386 (1-8) (2017).
- 6 I.A. Shulzhenko et al., Izvestiya RAN, Seriya Fizicheskaya, № 4, 524 (2017). (in Russ)
- 7 I.A. Shulzhenko et al., Izvestiya RAN, Seriya Fizicheskaya, № 3, 710–712 (2015). (in Russ)

- 8 N.V. Ampilogov, S.P. Denisov, R.P. Kokoulin, A.A. Petrukhin, N.N. Prokopenko, I.A. Shulzhenko, I.B. Unatlov, I.I. Yashin, *Journal of Instrumentation*, 12(7), C07004 (2017).
- 9 V.M. Aynutdinov, C.B. Bonifazi, A. Creusot et al., *Proceedings of the 28th International Cosmic Ray Conference*, 825-828 (2003).
- 10 S.S. Khokhlov et al., *Trudy III Cherenkovskikh chteniy: Novyye metody v eksperimental'noy yadernoy fizike i fizike chastits* (Moscow: FIAN, 2010), 30 p. (in Russ)
- 11 A.G. Bogdanov et al., *Yadernaya fizika*, № 11, 1904 (2010). (in Russ)
- 12 G. Rodriguez, *EPJ Web of Conferences*, 53, 7003 (2013).
- 13 I.A. Shulzhenko et al. *Journal of Physics. Conference Series*, 409, 012098 (2013).
- 14 A.G. Bogdanov et al., *Nuclear Physics B*, 342 (2008).
- 15 N.S. Barbashina et al., *Pribory i tekhnika eksperimenta*, № 2, 26 (2008). (in Russ)
- 16 B.V. Antokhonov et al., *Izvestiya RAN, Seriya fizicheskaya*, 75, 710-712 (2011). (in Russ)
- 17 K. F. Peter, *Reference Manual and Data Book*, 255 (2010).
- 18 V.B. Jhansi et al., *Proceedings of Science 356, Sayt eksperimenta GRAPES-3*: <http://grapes-3.tifr.res.in>.
- 19 A. Haungs et al., *Proc. 34th ICRC*, 278 (2015).
- 20 Š. Radomír, *35th International Cosmic Ray Conference – ICRC2017*, (2017) http://www.auger.org/archive/authors_icrc_2017.html.