

ЧЕРЕНКОВСКИЕ ДЕТЕКТОРЫ CHED НА ЯКУТСКОЙ УСТАНОВКЕ

С.В. Матаркин, Л.В. Тимофеев

Институт космофизических исследований и аэронавтики им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск, Россия
MatarkinSV@ikfia.ysn.ru

CHERENKOV DETECTORS CHED OF THE YAKUTSK ARRAY

S.V. Matarkin, L.V. Timofeev

Yu.G. Shafer Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy SB RAS, Yakutsk, Russia
MatarkinSV@ikfia.ysn.ru

Аннотация. Детекторы формы импульса черенковского излучения CheD созданы для расширения функциональности Якутской установки. Задача заключается в определении параметров широких атмосферных ливней от космических лучей сверхвысоких энергий, в частности, углов прихода ливня, для чего используются прецизионные измерения черенковского сигнала. Наблюдения ведутся с 2019 г. В настоящей работе приведены описание прибора и предварительные результаты, полученные за указанный период.

Ключевые слова: CheD, черенковское излучение, широкий атмосферный ливень.

Abstract. Cherenkov pulse shape detectors CheD are designed to expand the functionality of the Yakutsk array. The main purpose is to determine parameters of extensive air showers from ultra-high energy cosmic rays, particularly, the arrival angles, making use of the precision measurements of the Cherenkov signal. The measurements have been carried out since 2019. This paper presents device description and preliminary results obtained over the indicated period.

Keywords: CheD, Cherenkov light, extensive air shower.

ОПИСАНИЕ ПРИБОРА

Детекторы формы импульса CheD являются независимым дополнением к широкоугольному черенковскому телескопу [Ivanov et al., 2022] и парным — к интегральному черенковскому детектору [Matarkin, Timofeev, 2019] Якутской установки. Детекторы формируют четырехугольник со средней стороной 21 м, вершины которого указывают на направления сторон света (рис. 1). Детектор состоит из фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) ET Enterprises Type 9305KB, предусилителя напряжения на основе операционного усилителя AD8045, расположенных внутри дюралюминиевого корпуса. Сверху прилегает линза Френеля, расположенная на расстоянии фокуса от ФЭУ. Дюралюминиевый корпус изнутри окрашен черной краской для лучшего поглощения падающего света. Детектор ставится на треногу. Для защиты ФЭУ от дневного света предусмотрена крышка из того же материала, что и корпус (см. рис. 1).

Данные с детекторов отправляются на АЦП DRS4, находящийся на ближайшей станции наблюдения установки, где происходит оцифровка. Оцифрованные данные поступают в рабочий ноутбук, где оператор может установить программный триггер. Имеется также возможность подключения внешнего триггера, например, для работы в связке с наземными детекторами Якутской установки. При пробитии импульсом программного триггера любого из каналов, либо при срабатывании внешнего триггера, происходит сохранение события в локальную память ноутбука в формате.xml. АЦП имеет настраиваемую частоту выборки от 0.7 до 5 GSPS (число выборок в секунду) с 1024 дискретными точками и глубиной квантования 16 бит.

ОЦЕНКА УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

При известных координатах детекторов, их точной синхронизации и высоком разрешении реги-

стрирующей аппаратуры возможна оценка зенитных и азимутальных углов прихода оси широких атмосферных ливней (ШАЛ) на уровне наблюдения.

Наблюдения ведутся в темные безлунные ночи с октября по конец марта. В период 2019–2022 гг. было отобрано 15080 событий (62.94 %) по результатам 1367 часов наблюдений. В процессе обработки данных исключаются события, вызванные ложными срабатываниями; события, импульсы которых имеют явные дефекты; события, у которых амплитуды импульсов меньше установленного порога в 30 мВ. Полученное распределение зенитных и азимутальных углов показано на рис. 2.

Высокие вероятности для мелких зенитных углов в CheD объясняются низким порогом энергии. Чем меньше энергии, тем более вертикальные ливни преобладают. В диаграмме азимутальных углов есть уклон в сторону северо-запада, при этом такая тенденция сохраняется при смене местоположения детекторов. Причина подобного уклона неизвестна.

ОБЩИЕ СОБЫТИЯ

Степень истинности полученной оценки углов можно проверить, отыскав события, зарегистрированные как основной системой регистрации Якутской установки, так и детекторами CheD. Сначала отбираются события, времена прихода которых совпадают в обеих системах регистрации. Далее исключаются события, в которых не сработала ближайшая к детекторам станция наблюдения установки. Было найдено 227 таких событий, разбросанных в пределах полукилометра вокруг геометрического центра четырехугольника, образуемого детекторами CheD. Такое незначительное количество общих событий связано с энергетическим порогом установки, который начинается примерно с 10^{17} эВ, в то время как порог CheD предварительно находится в области 10^{15} эВ. Визуальное представление оценки корреляции углов показано на рис. 3.

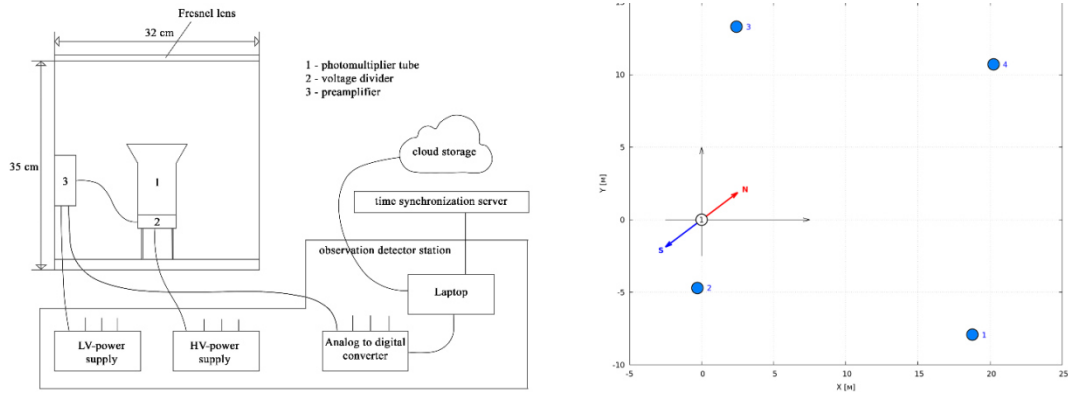


Рис. 1. Схема детекторов CheD (слева) и схема их расположения с 2019 по 2021 г. (справа) вокруг центра установки, обозначенной цифрой 1

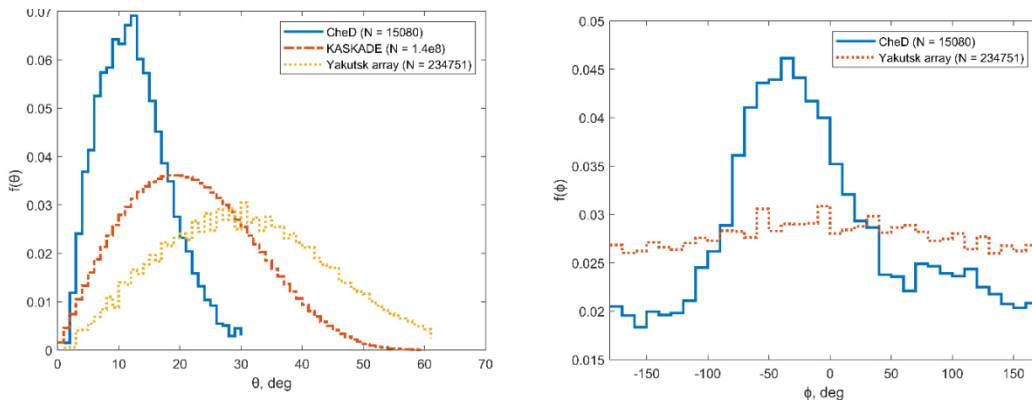


Рис. 2. Распределение зенитных (слева) и азимутальных (справа) углов прихода оси ШАЛ

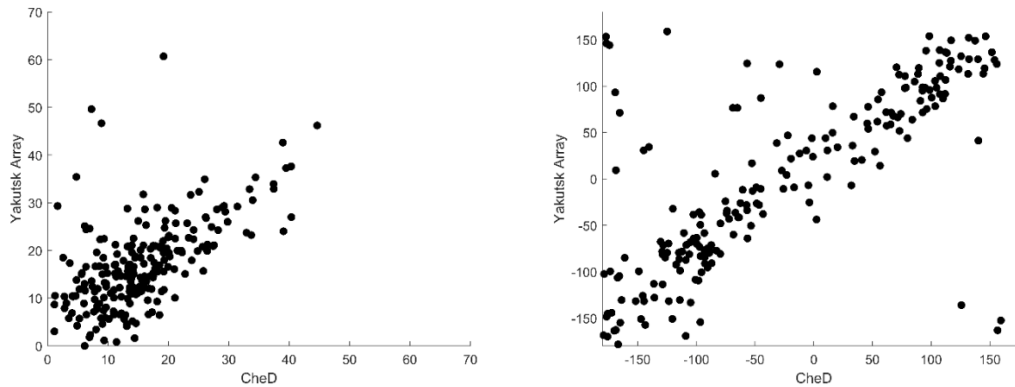


Рис. 3. Визуальная оценка корреляции зенитных (слева) и азимутальных (справа) углов прихода оси ШАЛ отобранных общих событий

Коэффициент корреляции для зенитных углов составил 0.58, а для азимутальных — 0.55. Подобный результат, в первую очередь, связан с малым количеством детекторов и малым расстоянием между ними.

ЗАВИСИМОСТЬ $fwhm(\lg(R))$

Основным параметром формы импульса черенковского излучения является ширина на полувысоте $fwhm$. Данный параметр, взятый от входных импульсов, находится в прямой зависимости от расстояния от детектора до оси ливня на уровне наблюдения.

Оценки входных импульсов находятся с применением методов цифровой обработки сигналов. Ис-

пользуется операция обращения свертки при известной импульсной характеристике системы, в качестве которой были взяты импульсы темновых токов фотоэлектронных умножителей. После нахождения оценки входных импульсов, белый шум подавляется фильтром низких частот. Из выборки исключаются события с перенасыщенными импульсами, а также события, у которых часть заднего фронта импульса помещается в окно АЦП.

Было исключено еще 40 событий из ранее отобранных 227. На рис. 4 показана полученная зависимость $fwhm(\lg(R))$. Там же показаны аналогичные зависимости, полученные в других экспериментах, с которыми наблюдается хорошее согласие (Naver Park [Hammond et al., 1978], Тунка [Prosin et al., 2009],

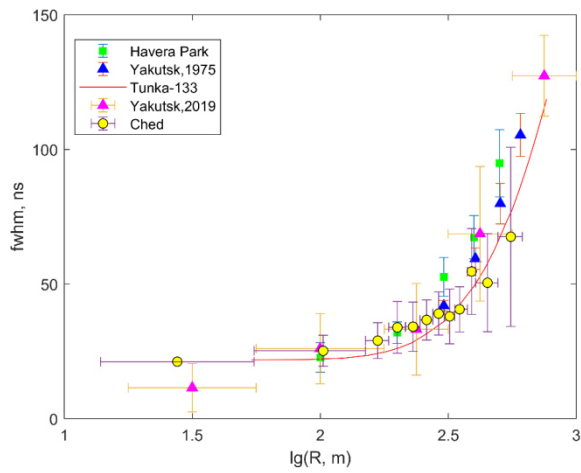


Рис. 4. Зависимость $fwhm(\lg(R))$ по данным наблюдений периода 2019-2022 гг.

Якутск 1975 [Kalmykov et al., 1975], Якутск 2019 [Ivanov et al., 2022].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Hammond R.T., Orford K.J., Protheroe R.J., et al. Čerenkov radiation in large cosmic-ray air showers. *Il Nuovo Cimento C*. 1978. Vol. 1. P. 315. DOI: [10.1007/BF02525044](https://doi.org/10.1007/BF02525044).

Ivanov A.A., Matarkin S.V., Timofeev L.V. Measuring temporal characteristics of the Cherenkov radiation signal from extensive air showers of cosmic rays with a wide field-of-view telescope addendum to the Yakutsk array. *Phys. Rev. D*. 2022. Vol. 105, iss. 4. DOI: [10.1103/PhysRevD.105.042008](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.042008).

Kalmykov N.N., Prosin V.V., Khristiansen V.M., et al. *JETP Lett.* 1975. Vol. 21, no. 1. P. 66.

Matarkin S.V., Timofeev L.V. A Cherenkov EAS light detector with high temporal resolution. *Bull. Russian Academy of Sciences: Physics*. 2019. Vol. 83. P. 640–642. DOI: [10.3103/S106287381905023X](https://doi.org/10.3103/S106287381905023X).

Prosin V.V., Budnev N.M., Chvalaiev O.A., et al. *Nuclear Physics B – Proc. Suppl.* 2009. Vol. 190. P. 247. DOI: [10.1016/j.nuclphysbps.2009.03.09](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2009.03.09).