

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 520.8.052

ДЕТЕКТОР ИЗЛУЧЕНИЯ ВАВИЛОВА–ЧЕРЕНКОВА,
ИНИЦИИРОВАННОГО ШИРОКИМИ АТМОСФЕРНЫМИ
ЛИВНЯМИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

© 2023 г. С. В. Матаркин^а, А. А. Иванов^а

Поступила в редакцию 10.02.2023 г.

После доработки 20.06.2023 г.

Принята к публикации 02.07.2023 г.

DOI: 10.31857/S0032816223060101, EDN: FJQLNT

Детекторы излучения Вавилова–Черенкова (ИВЧ, черенковский свет) используются для регистрации потока фотонов, порождаемых лавиной релятивистских электронов в широких атмосферных ливнях (ШАЛ) космических лучей в атмосфере. Интерес исследователей к ним обусловлен возможностью связать ключевые характеристики ШАЛ с измеренными параметрами черенковского света, в том числе с амплитудой и формой импульсов. Например, применение детекторов ИВЧ на якутской установке ШАЛ для измерения времен прихода фронта ливня на детекторы позволяет строить угловые распределения и определять направление прихода ШАЛ, а измерение амплитуды импульсов используется при оценке энергии первичной астрочастицы, порождающей ШАЛ [1, 2]. Длительность импульса ИВЧ связана как с расстоянием от детектора до координаты оси ливня на уровне наблюдения, так и с глубиной максимума развития ливня в атмосфере [3, 4].

В каждом широком атмосферном ливне космических лучей содержится громадное число заряженных частиц со скоростью выше скорости света в воздухе, c/n , где c – скорость света в пустоте, n – коэффициент преломления. Это приводит к большой интенсивности черенковского света от ливня, который может быть измерен в ночном небе достаточно простым прибором. С другой стороны, практически однонаправленное движение частиц ливня приводит к тому, что ИВЧ имеет очень малую длительность, от десяти наносекунд около оси ливня до сотни нс на периферии ливня. Это накладывает ограничения на разрешение прибора по времени, особенно при измерении формы импульса.

Электроника действовавших ранее установок ШАЛ, как правило, не позволяла проводить измерения ИВЧ с достаточной точностью, по крайней мере, форму импульса. Так, фотоумножители ФЭУ-49, применявшиеся на якутской установке ШАЛ, имели разрешение по времени около доли микросекунды, поэтому сигнал в детекторе подавался на интегрирующий усилитель, ограничивая измерения амплитудой импульсов ИВЧ. В более современном эксперименте, в долине Тунка (Республика Бурятия, Россия), ФЭУ, АЦП и усилители достаточно быстрые, но цифровая обработка сигналов для восстановления исходного черенковского сигнала не выполняется, ограничивая измерения формы импульса.

Прецизионный детектор ИВЧ от ШАЛ, который мы назвали Cherenkov Detector (CheD), разработан с целью расширения возможностей установок ШАЛ по совместной регистрации черенковского света с другими компонентами ШАЛ

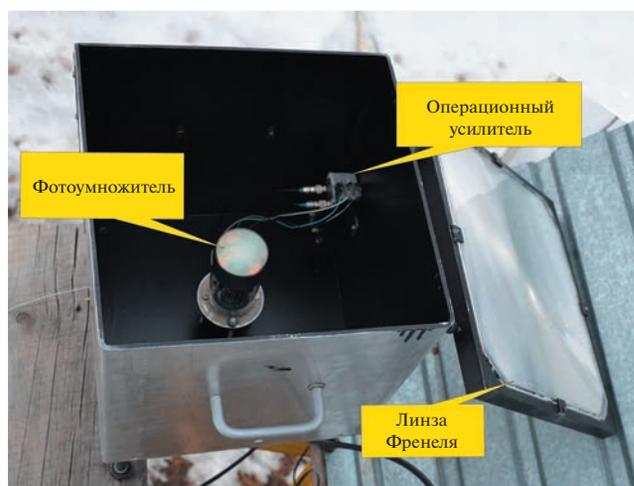


Рис. 1. Общий вид детектора CheD без крышки со снятой линзой Френеля.

^аЯкутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера, г. Якутск, 677027, пр. Ленина, 31, Россия

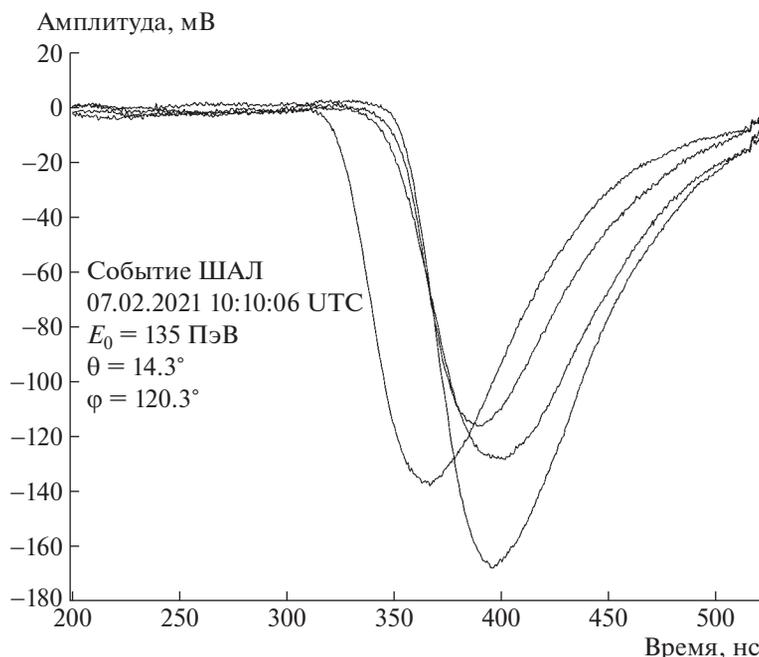


Рис. 2. Сигналы ИВЧ четырех детекторов CheD, работающих совместно со сцинтилляционными детекторами якутской установки ШАЛ. Параметры ливня восстановлены по данным установки.

так же, как и для создания автономной подсистемы детекторов ИВЧ со своим независимым триггером. CheD с цифровой системой регистрации сигналов позволяет выполнять деконволюцию измеренных сигналов методом преобразования Фурье для восстановления входного сигнала ИВЧ.

Детектор предназначен для существенного улучшения точности измерения черенковского света ШАЛ, особенно формы импульса. Решетка таких детекторов, встроенная в наземную установку ШАЛ, со своим независимым триггером событий ливней может повысить точность определения углов прихода ШАЛ, улучшить оценку параметров продольного развития ливней, в том числе глубины максимума ШАЛ и массового состава первичных астрочастиц.

Конструктивно детектор CheD состоит из ФЭУ ET Enterprises Type 9305KB диаметром 51 мм, операционного усилителя на микросхеме AD8045 с полосой пропускания 1000 МГц, расположенных внутри зачерненного дюралюминиевого корпуса (рис. 1). Сверху находится сдвоенная линза Френеля с размерами $28 \times 28 \text{ см}^2$, расположенная на фокусном расстоянии 13 см от фотокатода, закрываемая дном светонепроницаемой крышкой. Имеется возможность ручной фокусировки, для этого крепление ФЭУ имеет ход по вертикали, для регулировки углов наклона и высоты детектор установлен вертикально на геодезическом штативе. Сигналы с усилителя поступают по кабелю на удаленный регистратор на ос-

нове DRS4 [5], где происходит оцифровка и включается триггер для отсека ложных событий, вызываемых шумами. Возможно использование внешнего триггера. Оцифрованные данные архивируются в компьютере при желании совместно с данными основной установки ШАЛ, как на рис. 2.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (проект 0297-2021-0011; УНУ 73611 ЯкуШАЛ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов В.П., Афанасьев Б.Н., Глушков А.В., Григорьев В.П., Дьяконов М.Н., Егоров Т.А., Егорова В.П., Ефремов Н.Н., Иванов А.А., Кангаласов А.П., Кнуренко С.П., Колосов В.А., Корякин В.Д., Косарев В.Б., Красильников А.Д., Макаров И.Т., Михайлов А.А., Мордовской Е.Т., Никифорова Е.С., Орлов В.А., Правдин М.И., Сидоров Р.Г., Слепцов И.Е., Слепцов Н.И., Слепцова В.Р., Старостин С.К., Стручков Г.Г., Никольский С.И., Христиансен Г.Б. // Изв. РАН. серия физ. 1994. Т. 58. № 12. С. 92.
2. Иванов А.А., Кнуренко С.П., Слепцов И.Е. // ЖЭТФ. 2007. Т. 131. С. 1001. <https://doi.org/10.1134/S1063776107060052>
3. Ivanov A.A., Matarkin S.V., Timofeev L.V. // Intern. J. Mod. Phys. D. 2020. V. 29. 2050033. <https://doi.org/10.1142/S0218271820500339>

4. *Ivanov A.A., Matarkin S.V., Timofeev L.V.* // Phys. Rev. D. 2022. V. 105. P. 042008
<https://doi.org/10.1103/PhysRevD.105.042008>
5. *Ritt S., Dinapoli R., Hartmann U.* // NIM A. 2010. V. 623. P. 486.
<https://doi.org/10.1016/j.nima.2010.03.045>

Адрес для справок: Россия, 677027, г. Якутск, пр. Ленина, 31, Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, Институт космофизических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера. E-mail: MatarkinSV@ikfia.ysn.ru