

УДК 537.531.15

## 60 ЛЕТ СОЗДАНИЮ В ФИАН ПЕРВОЙ УСТАНОВКИ ПО ПОИСКУ ИСТОЧНИКОВ КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ЗАДАННОМ НАПРАВЛЕНИИ ПО ЧЕРЕНКОВСКОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ ШАЛ

Н. М. Нестерова

*В 1960 г. в Космической лаборатории ФИАН на Крымской станции впервые была создана установка, предназначенная для поиска локальных источников космических частиц – высокоэнергичных первичных фотонов – в заданном направлении по черенковскому излучению в воздухе от вызываемых ими широких атмосферных ливней. Поиск проводился на фоне свечения ночного неба в безлунные и безоблачные ночи. Система могла быть направлена в любую точку неба (видимую на данном уровне наблюдения), где расположен возможный источник. Были обследованы различные направления прихода от отдельных космических объектов при энергиях фотонов  $\sim 10^{13}$  эВ. Эксперимент положил начало широкому применению таких детекторов.*

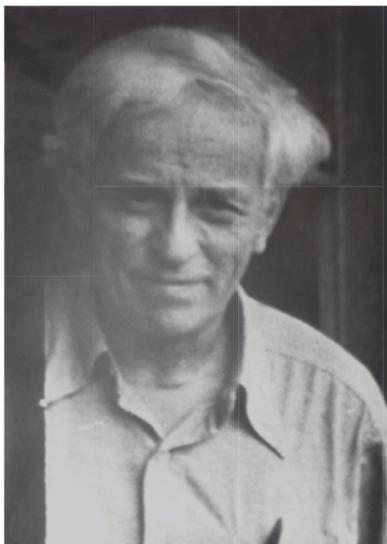
**Ключевые слова:** космические лучи, широкие атмосферные ливни, черенковское излучение в атмосфере от локальных источников.

Как известно, черенковское свечение возникает при прохождении заряженной частицы через вещество со скоростью, превышающей скорость света в веществе (в данном случае в воздухе). Оно может создаваться в атмосфере широкими атмосферными ливнями (ШАЛ) от фотонов первичных космических лучей (ПКЛ), приходящими в направлении от их источника, так как траектория фотонов не отклоняется в магнитных полях межзвездной среды (в противоположность заряженным частицам). ШАЛ – это колоссальный поток частиц, образующийся в атмосфере при последовательном взаимодействии первичной космической частицы с ядрами атомов воздуха, направленный к Земле под углом вылета образующей его частицы.

---

ФИАН, 119991 Россия, Москва, Ленинский пр-т, 53; e-mail: nesterovanm@lebedev.ru.

Еще в начале 50-х годов начались эксперименты по регистрации излучения Вавилова–Черенкова от ШАЛ из атмосферы, вызываемых ПКЛ и достигающих уровня наблюдения. Такие наблюдения с помощью простых систем проводили В. Гелбрайт и Д. Джели (Англия) в 1952 г. [1], а также сотрудники ФИАН под руководством А. Е. Чудакова на Памире в 1953 г. [2, 3].



Александр Евгеньевич Чудаков

*Установка для поиска источников космических лучей, регистрирующая черенковское излучение ШАЛ в атмосфере по всем направлениям на уровне наблюдения Памирской станции ФИАН.* В 1955 г. (еще до создания Крымской установки для поисков источников ПКЛ в заданном направлении) на Памирской станции ФИАН группой А. Е. Чудакова со студентами МГУ была налажена установка [4], регистрирующая черенковское излучение (ЧИ) на уровне наблюдения, производимое ШАЛ космических лучей со всех видимых ею направлений при постоянно направленных вертикально осях детекторов. В 1956–1957 г.г. она была расширена. Одновременно стала регистрироваться величина потока электронов ШАЛ на уровне наблюдения. По нему оценивалась энергия первичной частицы, образовавшей ШАЛ. Затем эта установка с Памира была перенесена на территорию МГУ, где она проработала вместе с установкой ШАЛ МГУ один сезон. В результате были получены данные о поглощении энергии ШАЛ в атмосфере по разнице между уровнем Памира и уровнем моря (МГУ) [5].

*Установка на Крымской станции ФИАН для поиска источников космических лучей в заданном направлении, регистрирующая черенковское излучение ШАЛ от них*

атмосфере. В 1960 г. группой А. Е. Чудакова в ФИАНе была создана новая установка, предназначенная для поиска локальных космических источников высокоэнергичных фотонов в заданном направлении по ЧИ ШАЛ в атмосфере.

В 1958 г. Дж. Коккони оценил возможность поиска на небе направлений на дискретные источники ПКЛ по регистрации направлений черенковского излучения стволов ШАЛ в воздухе [6]. Как показали вычисления Г. Т. Зацепина и А. Е. Чудакова (сделанные в 1958 г. и опубликованные позже, в 1961 г.) [7], оценки Коккони возможной интенсивности ЧИ ШАЛ от фотонов из источников ПКИ оказались завышенными. Тем не менее было принято решение поставить эксперимент по поиску источников в заданном направлении по ЧИ ШАЛ лабораторией Космических лучей ФИАН на территории Крымской станции ФИАН.

Эксперимент основывался на регистрации ЧИ, создаваемого в атмосфере электронами ШАЛ от высокоэнергичных фотонов из источников на фоне свечения ночного неба в безлунные и безоблачные ночи. ЧИ регистрировалось с помощью отражателей 12 прожекторов, параболических зеркал диаметром  $D = 155$  см, в фокусе которых находились фотоумножители с диаметром катода  $d = 4.5$  см (рис. 1). Конструкция позволяла направлять систему регистрации в заданном направлении на предполагаемый источник первичного фотона с точностью порядка градуса при большой эффективной площади регистрации ( $\sim 10^5$  м<sup>2</sup> для ШАЛ с первичной энергией  $\sim 10^{13}$  эВ).

Зеркала, оси которых были направлены параллельно, закреплялись на одном поворотном устройстве. Они могли быть синхронно направлены в точку неба, где находился предполагаемый источник, с точностью  $\sim 3^\circ$ . Эффект должен был состоять в увеличении интенсивности ЧИ ШАЛ во всех детекторах при прохождении их оси в направлении на источник по сравнению с соседними направлениями. Это давало возможность повторять наблюдения несколько раз за один ночной сеанс в противоположность системам с постоянно вертикально направленными осями детекторов.

На Крымской установке в 1960–1962 г.г. были обследованы направления прихода широких атмосферных ливней при энергиях  $\sim 10^{13}$  эВ от отдельных космических объектов в созвездиях Лебедь ХЗ, Кассиопея, Дева, Телец, Персей, а также от скоплений Галактик: Северная Корона, Волопас, Большая Медведица, Галактического Центра, Волосы Вероники. На некоторых из них с небольшой статистической точностью наблюдалось повышение интенсивности: Лебедь ХЗ, Северная Корона, Волопас [8–11].

Позже, вместо Крыма было решено перенести эти детекторы на Тянь-Шаньскую научную станцию ФИАН в состав образованной в те годы комплексной установки. Сов-



Рис. 1: Установка для поиска локальных космических источников первичных фотонов в заданном направлении по черенковскому излучению их ШАЛ в атмосфере.

местно с сотрудниками Крымской астрофизической обсерватории РАН там также был проведен ряд измерений [12].

Детекторы черенковского излучения разных типов, регистрирующие свечение ШАЛ в воздухе от первичных фотонов из источников ПККИ, широко применяются с тех пор во всем мире (см. например [13] и цитированную там литературу). В России действуют установки “ШАЛОН” [14] и “Горизонт” [15] для регистрации ЧИ ШАЛ, находящиеся на Тянь-Шаньской станции, на установке НИИЯФ МГУ “Тунка”, на Якутской установке и в Крымской астрофизической обсерватории.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] W. Galbraith and J. V. Jelley, *Nature* **171**, 349 (1953).
- [2] Н. М. Нестерова, А. Е. Чудаков, *ЖТФ* **28**(3), 384 (1955).
- [3] А. Е. Chudakov and N. M. Nesterova, *Nuovo Cimento* **8**, 606 (1958). DOI: 10.1007/BF02962580.

- [4] А. Е. Чудаков, Н. М. Нестерова, В. И. Зацепин, Е. И. Тукиш, Труды Международной конференции по космическим лучам **2**, 46 (1960).
- [5] Г. В. Куликов, Н. М. Нестерова, С. И. Никольский и др., Труды Международной конференции по космическим лучам, Москва, 1959 г., **2**, 87 (Изд. АН СССР, 1960).
- [6] Д. Коккони, Труды Международной конференции по космическим лучам **2**, 327 (1960).
- [7] Г. Т. Зацепин, А. Е. Чудаков, ЖТФ **41**, 655 (1961).
- [8] В. Л. Дадыкин, Г. Т. Зацепин, Н. М. Нестерова, А. Е. Чудаков, Космические лучи и проблемы космофизики (СО АН СССР, 1962).
- [9] А. Е. Chudakov, V. I. Zatsepin, N. M. Nesterova, V. L. Dadykin, On the high energy photons from local sources. Proc. ICRC, Kyoto, (1963).
- [10] А. Е. Chudakov, V. I. Zatsepin, N. M. Nesterova, V. L. Dadykin, On high energy photons from local sources. Proc. ICRC, Jaipur, (1964). Vol. 4.
- [11] А. Е. Чудаков, В. Л. Дадыкин, Г. Т. Зацепин, Н. М. Нестерова, NUKLKEONIKA **1X**, № 4-5 (Poland, 1964).
- [12] Д. Б. Муканов, Н. М. Нестерова, А. А. Степанян, В. П. Фомин, Известия Крымской астрофизической обсерватории, Изд. Наука. Т. LXII, 98 (1980).
- [13] R. Mirzoyan, M. I. Andersen, Astroparticle Physics **31**, 1 (2009). DOI: 10.1016/j.astropartphys.2008.10.008.
- [14] <http://npad.lebedev.ru/docs/shalon2.pdf>.
- [15] <http://npad.lebedev.ru/docs/horizont.pdf>.

Поступила в редакцию 11 января 2020 г.

После доработки 8 апреля 2021 г.

Принята к публикации 9 апреля 2021 г.