

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ



ПРЕПРИНТ

10

**50 ЛЕТ ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ КОМПЛЕКСНОЙ
УСТАНОВКЕ ФИАН ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ.
ИСТОРИЯ. РЕЗУЛЬТАТЫ. ПРОЕКТЫ**

Москва 2014

АННОТАЦИЯ:

Препринт посвящен комплексным установкам на Тянь-Шаньской станции ФИАН. Дано подробное описание прежней установки, созданной в 60-х годах прошлого века и подбор текстов о новых, современных установках и новых исследованиях. Подробно описывается назначение прежней установки, ее детекторы, основные научные результаты и жизнь на станции с многочисленными фотографиями участников.

Написанием и оформлением текста занимались: Н.М. Нестерова, В.П. Павлюченко, С.К. Мачавариани, Е.Н. Гудкова.

<http://npad.lebedev.ru/index.html>:

Высокогорные эксперименты: 1. Эксперименты и проекты (Атлет, Горизонт, Гроза), 2. История отделения.

ИСТОРИЯ УСТАНОВКИ

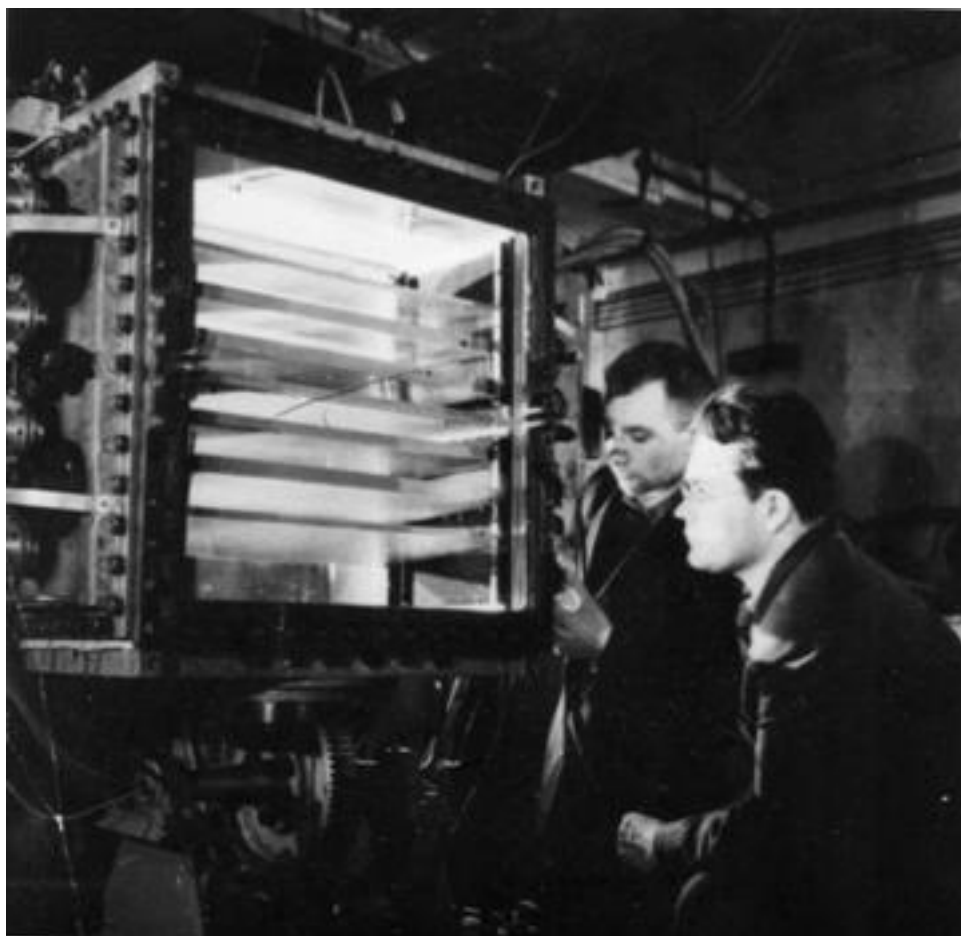
НАЗНАЧЕНИЕ УСТАНОВКИ

Комплексная установка для исследования широких атмосферных ливней входит в состав Тянь-Шаньской высокогорной научной станции ФИАН. Она расположена на высоте 3300 м в 25 км от города Алма-Аты. Эта установка была введена в строй вместе с инфраструктурой в конце 60-х годов и постоянно расширялась и модернизировалась.



Установка представляла уникальный по своей информативности комплекс мирового значения, предназначенный для получения экспериментальных данных по актуальным фундаментальным проблемам физики высоких энергий и астрофизики. Задачей являлось исследование природы первичных космических частиц - «космических лучей» и их взаимодействий в широком диапазоне энергий от 10^{12} до 10^{18} эВ, а так же поиск возможных новых физических явлений. Изучение проводилось путем регистрации **широких атмосферных ливней** (ШАЛ) - большого потока генетически связанных электронов, мюонов, адронов и других частиц. Широкие атмосферные ливни создаются в атмосфере первичными космическими частицами (в основном протонами, а также более тяжелыми ядрами) при их взаимодействии с ядрами атомов воздуха. Одной из основных задач, стоящих перед физиками при изучении космических

лучей на наземных установках - определение энергии первичной частицы, генерировавшей широкий атмосферный ливень. Поскольку электроны составляют основную долю частиц ШАЛ, то энергию первичной частицы можно оценить по числу электронов на уровне наблюдения. При энергиях первичных космических частиц около 10^{15} эВ на высоте 3 км их число в среднем достигает нескольких сот тысяч и растет пропорционально первичной энергии. Электроны в ливне расходятся на расстояния до нескольких сот метров от оси-направления первичной частицы (откуда и произошло название «широкие ливни»), причем их плотность убывает с увеличением расстояния от оси. Поэтому для регистрации электронной компоненты ливня на Тянь-Шаньской установке детекторы были расположены на различных расстояниях, вплоть до 200 м от центра. Эти детекторы вместе с детекторами других компонент использовались для получения сведений об энергетическом спектре и ядерном составе первичных частиц.



О.И. Довженко и С. И. Никольский

Для получения сведений о характере ядерного взаимодействия космических частиц с веществом при энергиях, недоступных экспериментам на ускорителях, планировалось изучение центральной области ливня - «ствола» в основном, с помощью ионизационного калориметра.

Комплекс «ШАЛ» позволял одновременно в каждом ливне регистрировать практически все основные компоненты, генерируемые космическими частицами: электронно-фотонную, адронную, мюонную и черенковское излучение из атмосферы.

В его создании, наладке, эксплуатации, а также обработке и анализе результатов эксперимента вместе с сотрудниками ФИАН принимали участие ученые Болгарской, Венгерской и Чехословацкой Академий наук. В разные годы в работе участвовали студенты МГУ, Казахского университета, МИФИ, Московского Энергетического, Томского и Челябинского институтов. Созданием комплекса руководил С.И. Никольский

На основании анализа результатов, полученных на Тянь-Шаньской установке, были сделаны сотни докладов на международных и советских, а затем российских конференциях, симпозиумах и научных «школах». Опубликовано более 500 научных работ, защищено 7 докторских и около 20 кандидатских диссертаций, прошли стажировку более 100 студентов.



Совещание.

*В.И. Яковлев (ФИАН), В. Михалек (Польша), Й.Н. Стаменов (Болгария),
А. Томашевский (Польша), В. Янминчев (Болгария).*

Тянь-Шаньская установка ШАЛ по своим возможностям не уступала компактным (с площадью разнесения детекторов до 0.25 км^2) комплексным установкам, созданным уже в последующие десятилетия в разных странах: Германии (KASCADE), Италии, Китае, Индии и др.



Эдельвейсы в горах Тянь-Шаня

В настоящее время в мире происходит переориентация на создание гигантских установок с разнесенными далеко друг от друга детекторами, предназначенных для изучения астрофизических вопросов при сверхвысоких энергиях (свыше 10^{18} эВ): энергетического спектра, ядерного состава и направлений прихода космических лучей (ШАЛ).

Однако целый ряд вопросов при меньших энергиях ПКЛ остается нерешенным и их изучение не менее актуальным. Продвижение исследований на ускорителях в эту область энергий со временем поможет решить их и, возможно, обнаружить новые процессы в космических лучах.

ДЕТЕКТОРЫ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТ ШАЛ ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ УСТАНОВКИ.

Детекторы адронной компоненты.

Наиболее энергичные ядерно-активные частицы сосредоточены в центре ливня, в его «стволе» - области, которая представляет особый интерес в изучении характеристик ядерного взаимодействия при сверхвысоких энергиях. Для этого в центре установки был помещен большой ионизационный калориметр, представляющий собой «сэндвич» из 19 рядов ионизационных камер, прослоенных свинцовым поглотителем общей толщиной 850 г/см^2 . Эта довольно объемная конструкция $(6 \times 6 \times 3) \text{ м}^3$ служила прибором для измерения ионизации, вызванной частицами на разной глубине калориметра и следовательно, для измерения потери энергии в нем. С его помощью также определялись координаты траектории прохождения частицы.



А.П. Чубенко за наладкой каналов калориметра

В первые годы между рядами были проложены слои рентгено - эмульсионных пленок. Один из слоев пленок периодически передвигался относительно другого. Этот новый метод «движущихся пленок» (Н.Л. Григоров) использовался для более точного сопоставления событий в калориметре с ШАЛ и определения более точного места прохождения частиц.

Рядом с калориметром было помещено электронное табло - «матрица» (немного напоминающее табло в аэропорте), состоявшее из множества неоновых лампочек. Информация с каждого детектора с помощью электроники переносилась на матрицу.



К.В Чердынцева и Р.А. Нам.

При выполнении заданных условий отбора событий, как только частица попадала в калориметр, матрица загоралась и можно было зрительно проследить траекторию частицы, а также величину вызванной ею ионизации.

Над созданием калориметра, проведением измерений и анализом экспериментальных результатов работали: В.И Яковлев, Р.А. Нам, А.П. Чубенко, В.И. Соколовский, В.П. Павлюченко, К.В Чердынцева, Н.П. Крутикова, Н.Г. Вильданов, Г.Я. Горячева, Г.В. Чернышова и др.



*У пульта управления установкой ШАЛ В.И. Яковлев.
Около «матрицы» ионизационного калориметра В. Гузиев,
на лестнице у калориметр Шимолин.*

С 1985 года калориметр был заменен системой, состоящей из четырех рядов ионизационных и рентгено-эмульсионных камер, размещенных на площади в 5 раз большей площади калориметра. Система была включена в общий комплекс модернизированной установки ШАЛ. Это был новый комплекс ШАЛ «АДРОН». Рентгено-эмульсионные камеры, имеющие существенно лучшее пространственное разрешение, чем ионизационные камеры, регистрировали гамма-кванты и их семейства с энергией свыше нескольких ТэВ, возникающие в свинцовом поглотителе между рядами камер. Руководил работой и анализом С.Б. Шаулов. Значительный вклад в работу и анализ данных внесли А.П. Чубенко, В.В. Арабкин, Д.К. Дженсеитова, Р.А. Нам, К.В. Чердынцева и др.



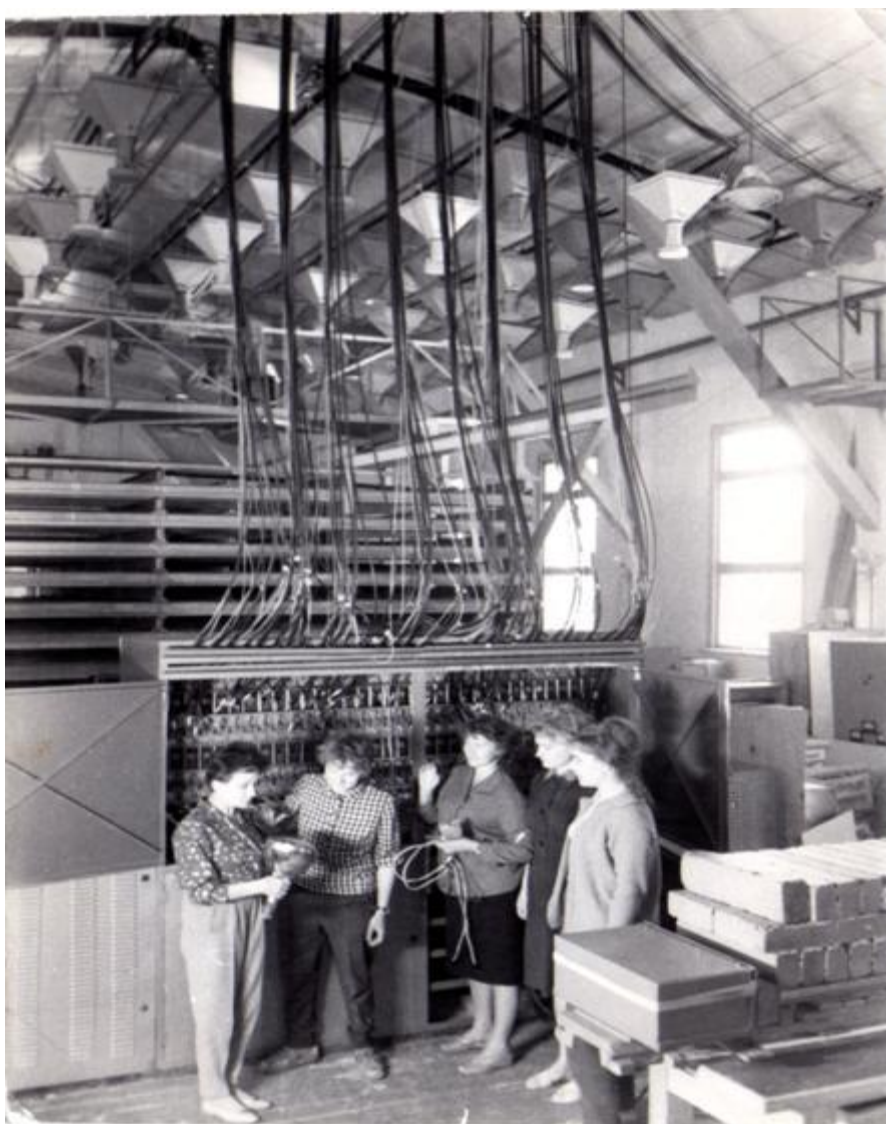
С.Б. Шаулов, В.В. Жуков, Р.А. Нам.

Новым направлением в экспериментах, связанных с изучением адронной компоненты ШАЛ на Тянь-Шаньской станции стало применение нейтронных мониторов для исследования адронной компоненты ШАЛ. С этой целью в 1990-91 г.г. к комплексу был присоединен нейтронный монитор Казахского института Ионосферы, расположенный вблизи от центра «АДРОН». Его диапазон измерения длительности импульсов от нейтронов был существенно изменен: от микросекунд до нескольких миллисекунд вместо прежних минутных интервалов. Созданием, обработкой и анализом под руководством А.П. Чубенко занимались А.Л. Щепетов, Л.И. Вильданова, В.В. Пискаль).

Детекторы электронно-фотонной компоненты

а) Система сцинтилляционных и газоразрядных детекторов

Для измерения плотности потока электронно-фотонной компоненты ливней была создана многоканальная система сцинтилляционных и газоразрядных счетчиков, расположенных как в центре, так и на разных расстояниях от него, вплоть до 200 м.



В начале эксперимента: под потолком «ковер» из сцинтилляционных счетчиков, внизу - секции калориметра. Н.М. Нестерова, К.В. Чердынцева, Э. Манухова, Г.В. Чернышева, Г.Я.Горячева.

По показаниям сцинтилляционных детекторов для каждого ливня определялись полное число электронов на уровне наблюдения, координаты оси и другие характеристики ливня.

Величину сигнала от каждого сцинтилляционного детектора можно было наблюдать по загоранию неоновых лампочек на пульте регистрации.

В центре сцинтилляционные детекторы были подвешены к потолку над калориметром. Их контейнеры были раскрашены в разные цвета, что напоминало разноцветный ковер. В комплексе ШАЛ+ «АДРОН» была существенно изменена и расширена система сцинтилляционных детекторов, а также увеличено их число. В.И. Соколовский был одним из первых создателей системы регистрации сигналов от сцинтилляционных детекторов. В разные годы

над этой системой под руководством Н.М. Нестеровой работали: В.И. Соколовский, В.С. Асейкин, В.А. Ромахин, А.Г. Дубовый, П.А. Дятлов, В.П. Бобова, Н.С. Ромахина и др. Для регистрации электронно-фотонной компоненты были использованы так же газоразрядные счетчики. В начале они располагались только в центре (В.И. Соколовский и др.), а затем и на разных расстояниях от него на периферии (руководитель Й.Н. Стаменов, В. Д. Янминчев и др.).



В. А. Ромахин



Н.М. Нестерова, П.А. Дятлов.

б) Хронотрон

Частицы из космоса и, следовательно, вызванные ими ШАЛ, приходят под разными углами. Метод определения угловых характеристик ШАЛ основывался на измерении разности времен попадания плоскости «фронта» электронов в детекторы, расположенные на разных расстояниях, так как задержки сигналов зависят от зенитного и азимутального углов наклона ШАЛ. Эти углы определялись с помощью системы «Хронотрон - 1», над которым работали Е.П. Юдин, Б.Б. Ордабаев, Д. Бенко, А.И. Решетников.

С 1978 г. в комплексную установку был включен новый «Хронотрон», разработанный и налаженный сотрудниками Центрального института физических исследований Венгерской Академии Наук (KFKI) (отделение ядерной физики и элементарных частиц. Руководитель А. Шомоди).

С этого времени на Тянь-Шаньской станции ФИАН совместно с KFKI проводилась отдельная работа по исследованию анизотропии прихода

первичных космических лучей в диапазоне энергий ПККИ $E_0 = 5 \cdot 10^{13} - 5 \cdot 10^{14}$ эВ (ответственные: А. Варга, Н.М. Нестерова).

Для этого в КФКИ была специально разработана и установлена на станции система регистрации и записи данных «КЛАРА+ ХРОНОТРОН».



В.А. Мариненко, Н.М. Нестерова, А.Г. Дубовый.

В дальнейшем результате проведенного анализа получены карты направлений на небесной сфере в экваториальных координатах, откуда возможен приход ПККИ.

Участие в наладке аппаратуры, проведении измерений и обработке результатов принимали сотрудники КФКИ: А. Варга, Д. Бенко, Г. Эрдеши и др. Измерения проводили также сотрудники ФИАН: С.Ф. Абдрашитов, К.В. Баркалов, В.А. Мариненко. Анализ работы системы проводил сотрудник Болгарской АН П.В. Ставрев.



Д. Бенко (Венгрия) и В.А.Мариненко

Детекторы мюонной компоненты.

Для получения наиболее полной картины взаимодействия ПКЛ в атмосфере необходимо исследовать проникающую мюонную компоненту ШАЛ. Чтобы выделить мюоны, как наиболее слабо поглощающуюся компоненту, их эффективнее регистрировать под слоем вещества, в котором остальные компоненты поглощаются. Для этой цели на глубине 10 м был прорыт тоннель длиной 60 м и точно под центром наземного ионизационного калориметра (и центром установки) построено отдельное рабочее помещение. Под потолком тоннеля и подземелья установили газоразрядные счетчики. Они регистрировали поток мюонов с энергией свыше 5 ГэВ. За эту часть установки была ответственна группа сотрудников Болгарской АН под руководством Й.Н. Стаменова: Н.Х. Георгиев, И.Н. Киров, П.В. Ставрев, Т. Станев, С.З. Ушев, В.Д. Янминчев, сотрудник станции Ю. Болдырев и др.



Й.Н. Стаменов, Ю. Болдырев



В. Янминчев (Болгария).

Кроме того, непосредственно под центром большого ионизационного калориметра в первые годы работал ионизационный калориметр площадью 9 м^2 , в котором мюоны с энергией более 10^{11} эВ создавали электромагнитные каскады, что позволяло оценить их энергию. Руководил созданием мюонного калориметра и анализом полученных данных А.Д. Ерлыкин. Ему активно помогал А.К. Куличенко. В эксплуатации этой установки и поучении данных также принимали участие С.К. Мачавариани, С.С. Мазниченко, Э.А. Мешков др.



С.К. Мачавариани, В.И. Яковлев.



В.А. Ромахин и А.Д. Ерлыкин.

Позднее, в 70-ые годы в центральном подземном помещении была собрана установка из большого числа широкозазорных (трековых) искровых камер для

изучения пространственно-угловой структуры мюонных пар и отдельных групп мюонов. Точность определения направления ШАЛ (около 3 миллирадиан) позволила обнаружить мюонные пары, рожденные адронами со средней энергией примерно 10 ТэВ, что превышало энергию адронов, исследованных на ускорителях того времени.

Руководил этой установкой Ю.Н. Вавилов.

В создании, проведении измерений и анализе участвовали Р.У. Бейсембаев, С.П. Бесшапов, Е.В. Базаров, Л.И. Вильданова, В.Любченко.



Ю.Н. Вавилов



*Возле калориметра
С.П. Бесшапов.*

Детекторы излучения Вавилова-Черенкова из атмосферы.

Одна из самых удивительных характеристик широкого атмосферного ливня - это излучение Вавилова-Черенкова в атмосфере («черенковские вспышки»). Оно возникает при прохождении заряженных частиц со скоростью, превышающей скорость света в воздухе. Несмотря на малую интенсивность черенковского света от одной частицы из-за малой плотности атмосферы, зарегистрировать кратковременную вспышку от ливня возможно на фоне свечения ночного неба в безоблачные и безлунные ночи, благодаря колоссальному потоку частиц ШАЛ.

Первоначально (с 1980 г.) Тянь-Шаньская система, регистрирующая величину черенковской вспышки, состояла из семи (к 1985 г. десяти) пунктов с

различным числом (от 1-го до 36) фотоэлектронных умножителей ФЭУ-49, расположенных как в центре, так и на разных расстояниях от него - до 130 м. Наблюдение черенковских вспышек позволяло оценить энергию, растраченную первичными космическими частицами в атмосфере, и по осциллограмме проследить развитие ливня до уровня Тянь-Шаня. Этими исследованиями под руководством В.И. Яковлева занимались Б.Н. Афанасьев, В.В. Жуков, Ю.М. Василюк, А.Ю.Смирнов и С.Ф. Абдрашитов.

Начиная с 1991 года установка была трансформирована в установку «ВЭГА»: на фотокатоды ФЭУ-49 были помещены сцинтилляторы толщиной 5 см и диаметром 15 см, число детекторов увеличено до 15. После приобретения цифровых осциллографов TDS-2014 стало возможным по осциллограммам проследить развитие ливня в атмосфере до уровня Тянь-Шаня. Это позволило зарегистрировать двойные ливни, разделенные промежутком времени ~ 100 нс и провести анализ природы этих событий.

В работе по созданию установки «ВЭГА» и последующем анализе данных под руководством В.И. Яковлева принимали участие С.Ю. Зуйков, К.В. Баркалов, В.В. Жуков, Н.Г. Вильданов, М.И. Вильданова, А.В. Степанов.



Б.В. Субботин и Е.И. Тукиш



*Космонавт В.В. Аксенов и
В.П. Павлюченко обсуждают
применение «обратной задачи»*

Электронная система записи, контроля и обработки информации.

Электронные управляющие системы Тянь-Шаньского комплекса отбирали нужные физические события, затем информация от отдельного ливня, с каждого детектора записывалась на магнитную ленту. Для этого была разработана специальная система записи, позволяющая проводить последующий анализ экспериментальных данных на электронных вычислительных машинах. В первое время еще только начинала развиваться методика использования ЭВМ в подобных экспериментах. Это была оригинальная, по тем временам, разработка. Ее под руководством Е.И. Тукиша коллективно создавали: Б.В. Субботин, М.А. Соловьева, М.Е. Шамаро, В.В. Пискаль и др. Участвовали в разработке различных электронных схем В.И. Яковлев, В.И. Соколовский, А.П. Чубенко, А.Д. Ерлыкин.

Следующий важный этап наступал уже при обработке записанных данных. Создавались банки данных, содержащих показания всех детекторов установки, а также программы их обработки. Устанавливались критерии, по которым отбирались нужные физические события. Разработчиками этой системы были Е.И. Тукиш, В.С. Асейкин, В.П. Павлюченко, Л.И. Вильданова, Н.М. Никольская, Н.В. Кабанова и др. Затем был создан основной банк, где были записаны физические параметры каждого ШАЛ, определенные по алгоритмам, разработанным В.П. Павлюченко.

На станции был хорошо оборудованный механический цех (А. Ключев и др.)



Старший механик А.П. Ключев.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ УСТАНОВКЕ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ШАЛ

Результаты о процессах взаимодействия адронов с ядрами атомов воздуха при энергиях пока не достигнутых на ускорителях (особенно во фрагментационной области энергий) и новые явления в космических лучах:

1. Величина и рост с увеличением энергии неупругого сечения взаимодействия протонов с ядрами атомов воздуха:

а) при энергиях ПКЛ от $2 \cdot 10^{12}$ до $4 \cdot 10^{13}$ эВ по спектрам одиночных протонов, прошедших до уровня Тянь-Шаня без взаимодействия, (Р.А. Нам, В.П. Павлюченко, А.П. Чубенко, В.И. Яковлев).

б) при энергиях ПКЛ от $3 \cdot 10^{14}$ до $3 \cdot 10^{15}$ эВ путем сравнения эксперимента по адронам с энергией больше 0.5 ТэВ и другим параметрам в ШАЛ с модельными расчетами (Н.М. Нестерова, А.Г. Дубовый).

По данным ускорителей с фиксированной мишенью это сечение в настоящее время известно только при энергиях до нескольких сот ГэВ.

2. Значение коэффициента неупругости при взаимодействиях нуклонов с ядрами атомов свинца и его распределение. Определены доля энергии нуклона, передаваемая в гамма - кванты, а так же полный коэффициент неупругости при энергиях 1-20 ТэВ (В.П. Павлюченко).

3. Замедление поглощения лавин адронов в свинце с ростом энергии, особенно в области около сотни ТэВ при энергиях ПКЛ свыше 10^{15} эВ (В.И. Яковлев).

4. Указание на возможность роста перпендикулярного импульса во взаимодействиях адронов с ядрами атомов воздуха при энергиях ПКЛ свыше 10^{15} эВ. (В.А. Ромахин, С.К. Мачавариани, Н.М. Нестерова).

5. Аномальное увеличение продолжительности импульсов в нейтронном мониторе (до нескольких миллисекунд), наблюдаемое в стволах ШАЛ при энергиях ПКЛ свыше 10^{16} эВ (А.П. Чубенко, А.Л. Щепетов).

6. Возможность возникновения новых процессов при энергии ПКЛ 10^{16} - 10^{17} эВ. (В.И. Яковлев, С.Б. Шаулов, С.И. Никольский).

Результаты о природе ПКЛ, полученные при исследовании электронно-фотонной, мюонной и других компонент ШАЛ:

1. Энергетический спектр ПКЛ в очень широком диапазоне (пять порядков) от 10^{13} до 10^{18} эВ, восстановленный на основании спектра ШАЛ по числу электронов по данным сцинтилляционных и газоразрядных счетчиков. (А.Г. Дубовый, П.А. Дятлов, С.К. Мачавариани, Н.М.Нестерова, Й. Н. Стаменов, А.П. Чубенко).

2. Оценка массового состава ПКЛ в области энергий $3 \cdot 10^{14}$ - $5 \cdot 10^{15}$ эВ по данным о мюонной, электронной и адронной компонентах ШАЛ (сотрудники Болгарской Академии Наук: Й. Н. Стаменов, В.Д. Янминчев и др., а так же сотрудники ФИАН: В.П. Павлюченко, А. Д. Ерлыкин, Т.В. Данилова, Н.М. Нестерова и др.).

3. Доля первичных гамма-квантов в потоке заряженных частиц ПКЛ и их интенсивность при энергиях $0.5-1.0 \cdot 10^{15}$ эВ, определенная по числу ШАЛ, не содержащих адроны и мюоны. (Й.Н. Стаменов, С.З. Ушев).

4. Периодичность прихода ШАЛ от ПКЛ с энергией выше $3 \cdot 10^{14}$ эВ в направлении на ряд космических объектов: Лебедь X-1, 4U01105. (И.Н. Киров, Й.Н. Стаменов и др.).

5. Проведен поиск источников первичного космического излучения (ПКЛ) в диапазоне энергий $E_0 = 10^{14}-10^{15}$ эВ в совместном эксперименте ФИАН и ЦИФИ Венгерской Академией наук. Выделены направления, по которым от источников ПКЛ могут приходить нейтральные первичные космические частицы. Отдельные направления совпадают с положением пульсаров. (Д. Бенко, А. Варга, Е.Н. Гудкова, Н.М. Нестерова, В.П. Павлюченко, Г. Эрдеши).

Результаты, полученные на основании исследования мюонной компоненты ШАЛ:

1. Величина доли прямых мюонов относительно числа пионов в актах сильного взаимодействия при энергии 10 ТэВ, которая составляет $\simeq 10^{-3}$, что на порядок превышает эту долю, установленную в экспериментах на ускорителях при энергии адронов сотни ГэВ, где эта доля порядка 10^{-4} . Это заключение - результат исследования мюонных пар с помощью искровых камер. Мюонные пары возникали непосредственно в актах сильного взаимодействия адронов ШАЛ с ядрами атомов свинца калориметра при прямом (быстром) рождении мюонов, (минуя $\pi - \mu$ или $K - \mu$ распады). Возможно, это происходит при распадах на мюоны очарованных частиц или других новых частиц с очень малым временем жизни ($\leq 10^{-13}$ с). (Ю.Н. Вавилов, Р.У. Бейсембаев, С.П. Бесшапов, Е.В. Базаров и др.).

2. Характеристики мюонной компоненты ШАЛ от ПКЛ с энергией $3 \cdot 10^{14}$ - 10^{16} эВ и их зависимости от электронной компоненты. (В основном сотрудники Болгарской АН под руководством Й.Н. Стаменова: Н.Х. Георгиев, И.Н. Киров, П.В. Ставрев, С.З. Ушев, В.Д. Янминчев и др.).

3. Энергетический спектр каскадов, генерируемых мюонами в свинце с энергией 0.3 - 10 ТэВ. (А.Д. Ерлыкин, А.К. Куличенко, С.К. Мачавариани).

ЖИЗНЬ НА СТАНЦИИ

Жизнь на станции была подчинена работе на установке, ежедневной проверке и наладке системы регистрации. Все системы установки должны были работать круглые сутки, за исключением перерывов для проверки и устранения неисправностей. По ночам приходилось дежурить всем сотрудникам без исключения. Когда ночью при слабом освещении во время регистрации ШАЛ, загорались неоновые матрицы калориметра и сцинтилляционных детекторов, зрелище было очень эффектным. Во время дежурства, иногда в кромешной тьме, с фонариком надо было идти в подземелье.

Многие сотрудники подолгу не спускались с гор в город. Но все были молоды, полны энергии. В свободное время народ шел зимой кататься на лыжах, а летом на прогулки в горы или в более длительный поход к озеру Иссык-Куль. Часто по выходным дружно выезжали на озеро Капчагай, где Тянь-Шаньская станция имела свой дом отдыха, или на Соленые озера под Алма-Атой.



После селя, разрушившего дороги, связь со станцией была возможна только вертолетом.

Любили подшутить над новичками. Рассказывали, что по ночам около станции появляется снежный человек. Очевидцы утверждали, что видели следы небывалых размеров. Потом, правда, оказывалось, что следы были искусно подделаны самими сотрудниками. Еще пугали новичков снежным барсом,

который будто ночью приближается к станции в поисках еды. Самоотверженность и энтузиазм особенно проявлялись во время чрезвычайных происшествий, которые нередко происходили в горах. Так, во время селя с гор (поток воды вместе с грязью и камнями) или схода лавин, когда дорогу просто сносило, и прерывалась связь с городом. Продукты питания и многие материалы приходилось ребятам тащить в горы на себе, а когда связь с Алма-Атой была прервана надолго, было организовано вертолетное сообщение со станцией. Бывали на станции и довольно трудные моменты. Так однажды по халатности кочегаров из бака в горное ущелье вылилось большое количество мазута и все сотрудники были мобилизованы на очистку склона, так как возникла опасность загрязнения мазутом талых вод, которые текли в г. Алма-Ату.

Примеров самоотверженной работы было множество. Ксения Викторовна Чердынцева вспоминает, как она вместе с Маргаритой Алексеевной Ивановой занимались отделочными работами между рядами монтируемого колориметра (стоящего еще в недостроенном помещении) в полостях высотой 50 см, предназначенных для рентгеновских пленок. Им приходилось проползать в узком пространстве и нитро грунтовкой зашпаклевывать все щели, что бы внутри полости была абсолютная темнота, а затем нитроокраской еще наводить красоту и глянец.

На установке подобрался по-настоящему сплоченный коллектив. На всевозможные мероприятия и праздники собирались все, кто работал на станции. Кроме дней рождения, отмечаемых в более тесном кругу, на станции вместе праздновали Новый год, 8-е Марта и 23 февраля. К ним обычно готовились заранее: писались либретто, сочинялись стихи и песни на знакомые мелодии, выпускалась шуточная газета. Особенно активными в организации эти праздников были В.П. Бобова, К.В.Чердынцева, Л.И. Вильданова и др. Отмечали праздники, как правило, в столовой или в специальном помещении, которое называлось «баром». Барменом был Слава Пискаль. Надо заметить, столовая была особым местом. Здесь можно было получить завтрак, обед и ужин, а вечером, за ужином она была еще чем-то вроде клуба, где за чаем обсуждался прошедший день и планы на завтра, где в простой обстановке можно было переговорить с сотрудниками из других подразделений, получить полезный совет, обсудить возникшие проблемы.

За годы измерений на Тянь-Шаньской установке были получены многие новые феноменологические пространственно - энергетические характеристики адронов и гамма-квантов высоких энергий, а также нейтронов низких энергий,

электронов, мюонов и черенковского излучения ШАЛ. Некоторые из них указывают на изменение характеристик ШАЛ с ростом энергии ПКИ во взаимодействиях с ядрами атомов воздуха при сравнении с экстраполяцией данных от низких энергий ускорителей в область энергий ШАЛ. Часть из них противоречит расчетам, основанным на современных представлениях об элементарном акте и составе ПКЛ. Это указывает на возможность существования новых процессов и частиц при энергиях свыше нескольких ПэВ. (В.И. Яковлев, С.Б. Шаулов, А.П. Чубенко, С.И. Никольский, Ю.Н. Вавилов).

Культурная жизнь на станции была также весьма активной. На станцию приезжало много интересных людей. Среди них были известные ученые: президент академии наук СССР М.В. Келдыш, академики А.П.Александров, И.М. Франк, Котельников, ученые из других стран.



*Посещение членами Академии наук СССР Тянь-Шанской станции в 1966 г.
М.В. Келдышем, А.П. Александровым и др.*



Научные сотрудники В.И. Яковлев и Е.И. Тукиш показывают установку академику АН СССР В.А. Котельникову и академику Казахской ССР Ж.С. Такибаеву.



А.Д. Ерлыкин рассказывает об эксперименте академику АН СССР В.А. Котельникову



С нобелевским лауреатом И. М. Франком. Тянь-Шань, 1972 г.



Посещение Тянь-Шанской станции членами Академии наук СССР М.В. Келдышем и А.П. Александровым вместе с членами Казахской Академии наук Н.А. Добротиным, Ж.С. Такибаевым и др.

Здесь побывали космонавты, журналисты, кинорежиссеры. Часто проводились лекции, научные семинары и научные школы. Раз в неделю из конторы кинопроката на станцию привозили фильмы, а крутили их своими силами, благо наши радиотехники (некоторые сотрудники станции из Алма-Аты были выпускниками кинотехникума).



Космонавты Аксенов, Рюмин, Севастьянов, Атьков на станции



Тянь-Шань 1979. Школа физиков.



Заседание Тянь-Шаньской школы 1979г.



Участники школы физиков 1979 г. после спуска на лыжах



Н.П. Крутикова и С.И. Никольский.



После встречи с космонавтами



*Перекур. Работа сцинтилляционных детекторов и Хронофона проверена.
А.Г. Дубовый, А. И. Решетников, студентка МГУ Л. Г. Свешникова, Бекбасов, С.Ф.
Абдрашитов, В.А. Ромахин, и др.*



С гитарой возле калориметра



Тянь-Шань, перегрузили свинцом.

Тянь-Шань, перегрузили свинцом



Проводы участников Тянь-Шаньской школы 1979г.



В.А. Ромахин.



*А. Ковальчук, А.Дубовый, Н.М. Нестерова
и кот Вася Первый*



К.В. Чердынцева.



М.Е. Шамаро у станка



Лена Ромахина, К.В. Чердынцева, Н.С. Ромахина и Снеговик.



*Можно прокатиться с ветерком.
Н.М. Нестерова и Б.В. Субботин*



*"Привет с Тянь-Шаня!"
Вверху: С.Мачавариани, К.Чердынцева,
Т. Главач; внизу: Д.Бенко, С. Гузеева,
Ю. Болдырев*



*Лучший повар всех времен и народов
Саша Пинаев*



В.С. Асейкин, А.К. Куличенко, Н.В. Кабанова, В.А. Ромахин.



В.В Жуков, Р.А. Нам, Л.В. Чмутова, Н.М. Никольская



Справа сотрудник ТШВНС ФИАН А.В. Степанов.



Начальник Тянь-Шаньской станции В.В. Жуков с директором ФИАН Г.А. Месяцем



Прием у премьер-министра Казахстана

International WORK SHOP ТШВНС ФИАН. 2006 г.
(на площадке ГАИША)



На заседании



Сотрудники ФИАН: А.П. Чубенко, В.С. Пучков, В.П. Павлюченко.



Ю.Н. Вавилов.



*Научные сотрудники ТШВНС ФИАН: А.Л. Щепетов,
Л.И. Вильданова и В.В.Оскомов.*



*Научные сотрудники: О.Н. Крякунова (институт Ионосферы. Казахстан),
Р. О. Бейсембаев (ТШВНС ФИАН).*



*И.Н. Киров (Болгария) и В.И. Яковлев,
В.И. Павлюченко (ФИАН).*



*По дороге от дальнего рабочего корпуса Тянь-Шаньской станции:
В. И. Яковлев, Я. Кемпа (Польша), В.В. Пискаль*



Вечер после окончания заседаний WORK SHOP. Я. Кемпа (Польша), Й.Н. Стаменов (Болгария), Р. Мартиросов (Армения), А.П. Чубенко (ФИАН).



Участники Work Shop ТШВНС ФИАН 2006

КОМПЛЕКС «АТЛЕТ» (ATHLET)



СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ТЯНЬ-ШАНЬСКОЙ СТАНЦИИ

Сейчас на станции создается новый комплекс установок, предназначенный для решения вопросов, поставленных по результатам прежних измерений и для их уточнения, а так же целый ряда других актуальных вопросов современной физики ПКЛ.



Расположение станций комплекса ATHLET

Трехуровневый комплекс «ATHLET» (Almaty Three Level Experimental Technique) включает двухцентровую установку «АДРОН-М», а так же установки «ГРОЗА» и «ГОРИЗОНТ» на Тянь-Шанской станции ФИАН (3340 м над уровнем моря, 690 г см^{-2}), и, кроме того, две однотипные с «АДРОН-М» установки, расположенные на разных уровнях: ПСКЛ (1750 м, 835 г см^{-2}) и КазНУ (850 м, 940 г см^{-2}). Комплекс является совместным проектом ФИАН, ПСКЛ и КазНУ.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «АТЛЕТ»

I. АСТРОФИЗИКА.

1. Энергетический спектр и состав ПКИ в области энергий от 1 ТэВ до $2 \cdot 10^{18}$ эВ. Проблема «колена при $3 \cdot 10^{15}$ эВ и второго «колена» при 10^{17} эВ.

Методы: а) анализ спектров протонов проскочивших без взаимодействия или потерявших небольшую часть энергии в атмосфере; б) анализ пространственно-энергетических характеристик разных компонент ШАЛ ; в) определение энергии первичной частицы по сумме энергий эл.-фот. , адронной и мюонной компонент ШАЛ на уровне наблюдения; г) анализ многоструйных событий в калориметре и РЭК ; д) анализ флуктуаций компонент ШАЛ и т.д.

Наклонная установка-наблюдение спектров ШАЛ под разными зенитными углами и на разной глубине атмосферы.

2. Гамма астрономия в области выше 100 ТэВ

(метод: «безмюонные и безадронные» ШАЛ).

3. Экзотические явления (проникающие частицы в калориметре и РЭК, нейтронные вспышки в стволах ШАЛ, выстроенность гамма квантов в РЭК и т.д.).

II. ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПКИ С АТМОСФЕРОЙ ЗЕМЛИ.

1. Энергетическая зависимость сечений ядро-ядерных и адрон-ядерных взаимодействий.

2. Инклюзивные спектры вторичных частиц во фрагментационной области.

3. Множественность и состав вторичных частиц.

Метод: анализ различных компонент ШАЛ и сравнение с расчетами для разных моделей.

III. Физика Солнца. Механизмы распространения космического излучения .

Галактическое космическое излучение. Космическая погода.

1. Наблюдение и анализ вариаций космического излучения на нейтронных мониторах и мюонных телескопах на разных глубинах атмосферы.

2. Регистрация излучений солнечных вспышек.

Метод: расширение и модернизация нейтронных мониторов на разных уровнях.

IV. Нейтронная Физика и космическое излучение.

1. Изучение процессов генерации нейтронов в ШАЛ.

2. Поглощение нейтронообразующей компоненты в атмосфере и грунте.

Процессы генерации нейтронов космическим излучением.

V. Механизмы Генерации Атмосферных Разрядов. Эффект Убегающих Электронов. (проект Гроза)

VI. Аномальные явления сильно наклонных широких атмосферных ливней (проект Горизонт)

VII. Сейсмология и ШАЛ.

1. Установка «Мюонный Луч ВСШ».

2. Классические сейсмические установки с составе АТЛЕТа.

VIII. Развитие методики регистрации заряженных частиц и нейтронов.

1. Новые нейтронные сцинтилляционные счетчики.

2. Новые детекторы заряженных частиц.

«АДРОН-М»

В 2001 году был разработан для ТШВНС проект высокогорного комплекса АДРОН-М для исследований в области астрофизики космических лучей и их взаимодействия с земной атмосферой. Проект прошел академическую экспертизу и получил одобрение Проблемного Совета по космическим лучам. В дальнейшем в процессе работы проект был расширен за счет новых направлений исследований в таких областях, как физика процессов атмосферных молний, физики Солнца, сейсмологии (разработки методов краткосрочного прогнозирования разрушительных землетрясений) и т.д. К проекту подключились несколько институтов и университетов Республики Казахстана и

было принято решение дополнить проект двумя установками ШАЛ с нейтронными мониторами, расположенными на двух уровнях: в г.Алмата (850 м н.у.м.) и на Промежуточной станции космических лучей(ПСКЛ) ИФВЭ (1750 м н.у.м.),а комплекс АДРОН-М расширить за счет включения ионизационного калориметра ,расположенного в здании ИФВЭ. Таким образом, объединенный проект получил новое название АТЛЕТ.

В состав комплекса АДРОН-М будут входить следующие установки:

1. Центральный ковер из 128 сцинтилляционных детекторов в эллинге ФИАН .

2. Подземные детекторы:

а) мюонный годоскоп общей площадью около 100 м^2 ,

б) нейтронный калориметр для регистрации нейтронных толчков от горизонтальных мюонов;

в) 2-хслойного нейтронного детектора для регистрации нейтронных толчков.

от вертикальных мюонов.

3. Центральный ковер из 128 сцинтилляционных детекторов и ионизационно-нейтронного калориметра (ИНКА-60) в здании ИФВЭ.

4. Хронотрон на 32 канала для измерения зенитного и азимутального углов ШАЛ.

5. Нейтронный 18-ти канальный супермонитор Института ионосферы РК.

6. Центральный электронный годоскоп над ИНКА-60 .

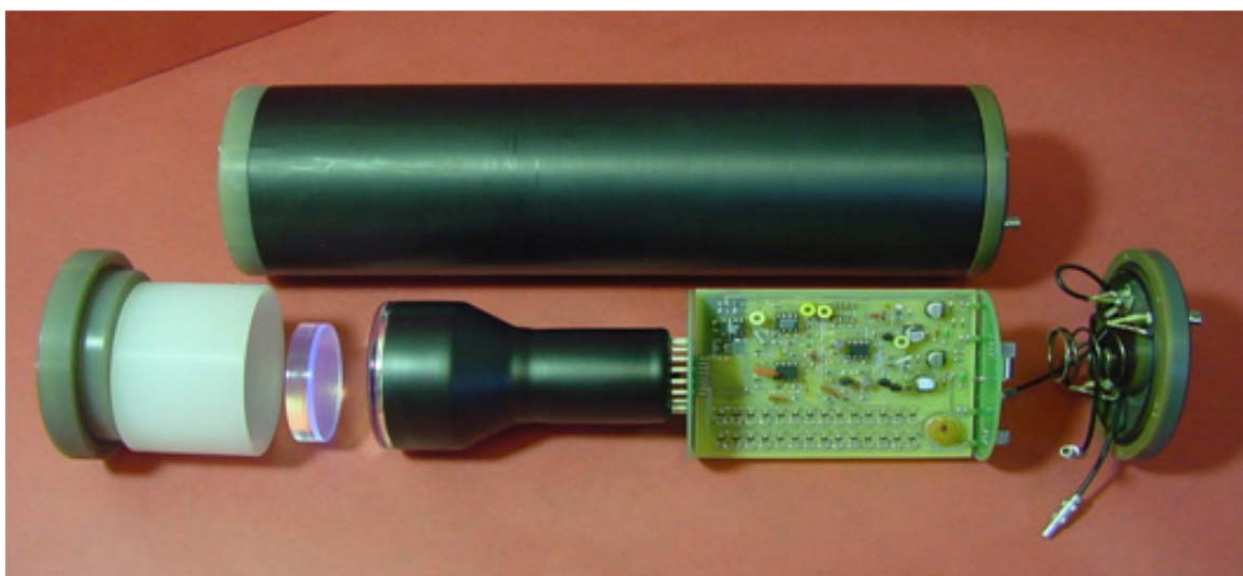
7. Периферийная установка для регистрации ШАЛ на площади до 3-х км^2 .

К настоящему времени закончены все монтажные работы центральных ковров сцинтилляционных детекторов в эллинге ФИАН и ИФВЭ, подземных детекторов, двух верхних рядов ионизационных камер(Гамма-блок) ИНКА-60, Хронотрона и на них проводятся работы по физическому запуску. Монтажные работы на ИНКА-60 продолжаются (около 70% работ выполнено).

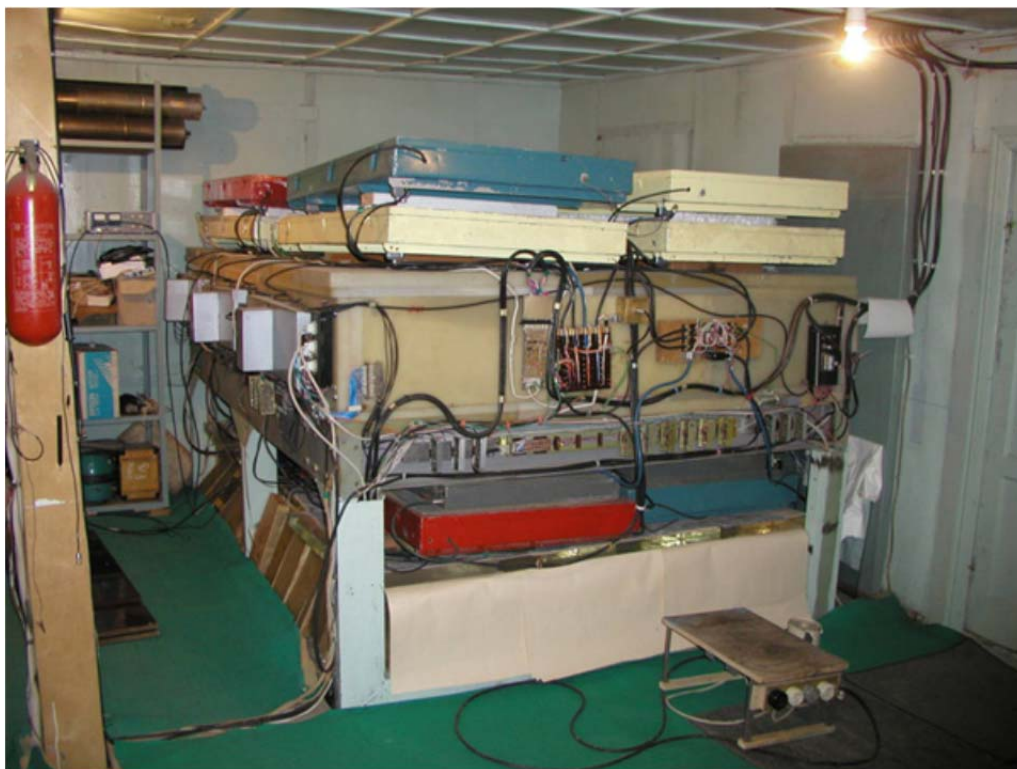
Для калориметра нашими сотрудниками вместе с сотрудниками ИФВЭ разработаны новые ионизационно - нейтронные детекторы. Создается новая, современная система регистрации сигналов от разных детекторов.



*Система регистрации во втором центре установки АДРОН-М.
Коллектив сотрудников ТШВНС (слева направо): Старжинский И., Чубенко А.П., Демченко
А., Луценко В., Нам Р.А., и Громов Д.*



Новый сцинтилляционный нейтронный счетчик. Разработка ФИАН-ИФВЭ.



Общий вид секции В нейтронного монитора 18НМ-64 с дополнительной секцией D после модернизации.



Подземный детектор для регистрации нейтронных «толчков» от мюонов.



*Стойка с блоками системы
регистрации установки
ХроноТрон-8.*



*Подземный 2-х секционный нейтронный детектор для
регистрации нейтронных «толчков» от вертикальных
мюонов.*



Сцинтилляционные детекторы для регистрации электронно-фотонной компоненты.



Настройка каналов подземного нейтронного калориметра ("UNCA-152") и для регистрации нейтронных «толчков» от горизонтальных мюонов.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ И ДОКЛАДОВ «ATLET»

A.P.Chubenko, A.L.Shepetov, S.K.Chernichenko, L.G.Sveshnikova and G.Vassil'chenko "The effect of anomalous neutron events: new data from the intillation neutron detectors" Proceedings of the 30th International Cosmic Ray conference, José F. Valdés-Galicia (eds.), UNAM, Mexico City, Mexico, 2008, vol.4, pp. 7-10

A.P.Chubenko, A.L.Shepetov, P.A.Chubenko, Ye.Sh.Isayev, D.I.Krykbayev, V.Kryukov, V.V.Oscomov, V.P.Pavlyuchenko, T.Kh.Sadykov and L.I.Vil'danova "The underground neutron calorimeter for registration of the neutron-bearing cosmic ray component at the Tian-Shan" Proceedings of the 30th International Cosmic Ray Conference, José F. Valdés-Galicia (eds.), UNAM, Mexico City, Mexico, 2008, Vol.4, pp. 3-6

A.P.Chubenko, A.L.Shepetov, V.P.Antonova, P.A.Chubenko, S.V.Kryukov
“The influence of background radiation on the events registered in a neutron monitor at mountain heights” Journal of .Physics. G: Nucl. Part. Phys. 35 (2008) 085202 (13pp)

G.I. Britvich, S.K. Chernichenko, A.P. Chubenko, Yu.V. Gilitsky, A.E. Kushnirenko, E.A. Mamidzhanyan, V.P. Pavlyuchenko, I.V. Shein, A.P. Soldatov, A.L. Shepetov and V.G. Vasil'chenko “The large scintillation charged particles detector of the Tien-Shan complex “ATHLET” Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Volume 564, Issue 1, 1 August (2006), Pages 225-234.

G.I. Britvich, V.G. Vasil'chenko S.K. Yu.V. Gilitsky, A.P. Chubenko, , A.E. Kushnirenko, E.A. Mamidzhanyan, V.P. Pavlyuchenko, V.A.Pikalov, V.A.Romakhin, A.P. Soldatov, O.V.Sumaneev, S.K. Chernichenko, I.V.Shein and A.L. Shepetov A neutron detector on basis of boron-containing plastic scintillator Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, Volume 550, (2005), Pages 343-358

Л.А. Амурина, В.П. Антонова, Г.М. Аутова, К. Бабаев, А.С. Байгубеков, П.А. Бейль, Р.У. Бейсембаев, А.Е. Бодунов-Скворцов, А.С. Борисов, Ю.Н. Вавилов, А.В. Варгасов, Л.И. Вильданова, Н.Г. Вильданов, Е.Н. Гудкова, А.В. Гуревич, З.М. Гусева, В.Г. Денисова, В.И. Дробжев, В.В. Жуков, Н.Н. Застрожная, Г.Т. Зацепин, Е.А. Каневская, Я. Кемпа, М.Г. Коган, Е.В. Костин, А.В. Круглов, М.И. Крылова, С.В. Крюков, О.Н. Крякунова, А.И. Купчишин, В.М. Максименко, А.К. Манагадзе, И.С. Мартьянов, К.М. Мукашев, Р.А. Мухамедшин, Р.А. Нам, Н.М. Нестерова, Нуритдинов, В.В.Оскомов, В.П.Павлюченко, В.В.Пискаль, Р.Ю.Поляков, В.С.Пучков, С.Е.Пятовский, И.В.Ракобольская, Т.М.Роганова Н.Н.Ройнишвили, Н.О.Садуев, Т.Х.Садыков, Л.Г.Свешникова, С.А.Славатинский, А.В.Степанов, К.В.Чердынцева, А.П.Чубенко, П.А.Чубенко, Т.Шойынбаева. А.Л.Щепетов, Т.С.Юлдашбаев, В.И.Яковлев. «Тянь-шаньская установка "Athlet" для комплексного исследования космических лучей». Известия Академии наук РАН, сер. физическая. Т.69. № 3. С. 353-355. (2005).+

Bulletin of Russian Academy of Sciences: Physics. (англ. перевод).

Amurina L.A., Beyl' P.F., Beisembaev R.U., Kruglov A.V., Krylowa M.I., Nam R.A., Piscal' V.V., Polyakov R.Yu., Stepanov A.V., Vil'danov N.G., Vil'danova L.I., Zhukov V.V., Antonova V.P., Drobzhev V.I., Kryakunova O.N., Kryukov S.V., Autova G.M., Mukashev K.M., Shoiynbaeva G.T., Babaev M.K. et al. "MODERN STATE OF THE ATHLET SETUP AT THE TIEN SHAN. WE PRESENT UP-TO-DATE STATE OF NEW EXPERIMENTAL COMPLEX ATHLET". WORLD SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY/

Amurina L.A., Beyl' P.F., Beisembaev R.U., Kruglov A.V., Krylowa M.I., Nam R.A., Piscal' V.V., Polyakov R.Yu., Stepanov A.V., Vil'danov N.G., Vil'danova L.I., Zhukov V.V., Antonova V.P., Drobzhev V.I., Kryakunova O.N., Kryukov S.V., Autova G.M., Mukashev K.M., Shoiynbaeva G.T., Babaev M.K. et al. "MODERN STATE OF THE ATHLET SETUP AT THE TIEN SHAN. WE PRESENT UP-TO-DATE STATE OF NEW EXPERIMENTAL COMPLEX ATHLET". WORLD SCIENTIFIC PUBLISHING COMPANY. International Journal of Modern Physics A. 2005. T. 20. № 29. C. 6778-6780.

Chubenko A.P., Borisov A.S., Chubenko P.A., Cherdyntseva K.V., Gudkova E.N., Guseva Z.M., Kanevskaya Ye.A., Maximenko V.M., Nesterova N.M., Pavlyuchenko V.P., Puchkov V.S., Ryabov V.A., Shaulov S.B., Shepetov A.L., Slavatskiy S.A., Vavilov Yu.N., Yakovlev V.I., Mukhamedshin R.A., Zatsepin G.T., Amurina L.A. et al. "A NEW COMPLEX INSTALLATION ATHLET FOR THE INVESTIGATION OF INTERACTIONS IN ULTRARAYS ON TIEN-SHAN MOUNTAIN" Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. T. 527. № 3. C. 648-651. (2004).

I.A. Amurina, V.P. Antonova, G.M. Autova,... A.E. Bodunov-Skvortsov, A.S. Borisov, A.P. Chubenko, P.A. Chubenko, K.V. Cherdyntseva, V.G. Denisova, E.N. Gudkova, Z.M. Guseva, E.A. Kanevskaya, E.V. Kostin, A.V. Kruglov, V.M. Maximenko, R.A. Nam, N.M. Nesterova, ... V.P. Pavlyuchenko, V.V. Piskal, V.S. Puchkov, S.E. Pyatkovsky, S.B. Shaulov, A.L. Shepetov, Yu.N. Vavilov, N.G. Vildanov, L.I. Vildanova, V.I. Yakovlev, V.V. Zhukov. "The Modern State of ATHLET Set-up at Tien Shan". 19th European Cosmic Rays Symposium. 2004. Florence, Italy. International Journal of Modern Physics A (IJMPA). (2004).

A.P. Chubenko, R.A. Mukhamedshin I.V. Amurina, V.P. Antonova, R.U. Beisembaev, A.S. Borisov, P.A. Chubenko, K.V. Cherdyntseva, V.I. Drobzhev, V.F. Grishchenko, E.N. Gudkova, Z.M. Guzeva, Ye.A. Kanevskaya, O.N. Kryakunova, S.V. Kryukov, A.I. Kupchishin, I.S. Martiyanov, V.M. Maximenko, K.K. Mukachev, R. A. Nam, N.M. Nesterova, V.V. Oskopmov, V.P. Pavlyuchenko, V.V. Piskal, V.S. Puchkov., V.A. Ryabov, T.Kh. Sadykov, S.B. Shaulov, A.L. Shepetov, S.A. Slavatskiy, A.V. Stepanov, V.M. Sultangazin, Yu.V. Vavilov, N.G. Vildanov, L.I. Vildanova, V.I. Yakovlev, N.N. Zastorzhnova, G.T. Zatsepin, V.V. Zhukov. "Perspectives of the ATLET installation at the Tien-shan". Proc. 28th ICRC. V. P. 977-980 (2003).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА «ГРОЗА»

На Тянь-Шанской высокогорной станции ФИАН (ТШВНС) создан экспериментальный комплекс «Гроза», где ведутся работы по изучению процессов в грозовой атмосфере и исследованию их взаимосвязи с космическим излучением. Эти работы имеют как фундаментальное, так прикладное назначение.

ТШВНС представляет собой уникальное место для изучения грозового разряда, поскольку высота его расположения – 3400 м над уровнем моря – соответствует высоте прохождения грозовых облаков над горами Северного Тянь-Шаня.

В настоящее время комплекс «Гроза» состоит из следующих установок: ливневой триггерной системы, регистрирующей прохождение космических лучей, системы сцинтилляционных NaI-детекторов, многорядных ионизационных спектрометров поглощения, двух независимых радиосистем, работающих в диапазоне частот 0,1 – 30 МГц и ~ 250 МГц, двух детекторов скачка статического электрического поля и его высокочастотной составляющей, детекторов тепловых нейтронов и нейтронного супермонитора НМ-64.



*Пункты размещения (показаны цифрами)
экспериментальной аппаратуры комплекса «Гроза».*

Комплекс «Гроза» – это установка нового поколения, которая позволяет одновременно регистрировать в атмосферном грозовом разряде потоки гамма излучения, высокоэнергичных электронов и позитронов, а также нейтронов, в том числе тепловых.

Исследования взаимосвязи гамма-излучения с грозовыми явлениями и с космическими лучами проводятся на Тянь-Шанской высокогорной научной станции с 1999 г. Уже первые результаты показали существенное усиление гамма излучения в диапазоне 100 – 500 кэВ во время грозы. Затем были обнаружены ярко выраженные корреляции электрического разряда в грозовой атмосфере со всплесками гамма-излучения. Это подтверждает совместное наблюдение радиоизлучения и гамма-излучения. Затем было установлено, что коротковолновое радиоизлучение каждой молнии начинается с очень короткого биполярного импульса длительностью порядка 100 нс. Была обнаружена временная корреляция кратковременных вспышек с моментами электрических разрядов (молний) внутри грозовых облаков и моментами прохождения широких атмосферных ливней (ШАЛ) через область с высокой напряженностью электрического поля внутри облаков. Обнаружена глубокая взаимосвязь космических лучей с электрическими явлениями в грозовой атмосфере.

Впервые в мире экспериментально обнаружен особый тип межоблачного разряда в атмосфере, инициированного высокоэнергичными космическими лучами.



Подъем кабеля для верхнего детектора

В атмосферных разрядах во время активного грозового периода наблюдалось огромное количество электронов с энергиями вплоть до МэВ и выше. Впервые на комплексе «Гроза» зарегистрированы чрезвычайно большие потоки низкоэнергичных тепловых нейтронов, генерируемых во время грозы, совпадающие по времени с моментами атмосферных разрядов.

В лабораторных условиях разрабатывается установка для имитации процессов в грозовом разряде. Для выяснения механизма инициации разряда необходимы создание разряда с хорошо воспроизводимыми параметрами, с данными о распределении электрического поля, тока, свойств среды в промежутке с высокой точностью во времени и пространстве.

Импульсный разряд в заданной начальной конфигурации электрического поля является удобным объектом для поиска новых механизмов инициации пробоя, одним из которых является механизм пробоя на убегаящих электронах (ПУЭ), предложенный академиком А.В. Гуревичем, активно участвующем в организации проекта.

Научные цели проекта:

1) Получение новых знаний и приоритетных научных результатов о роли высокоэнергичных проникающих излучений в образовании и развитии молниевых разрядов в грозовой атмосфере;

2) Непрерывный мониторинг всех видов ионизирующих излучений, выявление аномалий потоков космической радиации в периоды солнечной и грозовой активности и прогнозирование космической погоды;

3) Использование на практике новых принципов и методов защиты коммуникаций от атмосферных разрядов и обеспечение безопасности полетов летательных аппаратов в космосе и в верхних слоях атмосферы.



*Детекторы для новой установки. «Ставить там!»
А.П. Чубенко и студенты. 2010 г.*



Настройка сотрудниками ФИАН Чубенко А.П. и Щепетовым А.Л. системы регистрации установки на 3500 м н.у.м. для исследования физических процессов в атмосферных молниях.

Литература

- 1.Chubenko A.P., Antonova V.P., Kryukov S.V., Piskal V.V., Ptitsyn M.O., Shepetov A.L., Vildanova L.I., Zybin K.P., Gurevich A. V. // Intensive X-ray emission bursts during thunderstorms // Physics Letters A , 2000, v. 275, pp. 90 – 100;
- 2.Chubenko A.P., Amurina I.V., Antonova V.P., Kokobaev M.M., Kryukov S.V., Nam R.A., Nesterova N.M., Oskomov V.V., Piskal V.V., Ptitsyn M.O., Sadykov T.Kh., Shepetov A.L., Vildanova L.I., Zybin K.P., Gurevich A. V. // *Effective growth of number of cosmic ray electrons inside thundercloud* // Physics Letters A , 2003, v. 309, pp. 90 – 102;
- 3.Gurevich A.V., Karashtin A.N., Chubenko A.P., L.M.Duncan, Ryabov V.A. et al // *Experimental evidence of giant electron - gamma bursts generated by extensive atmospheric showers in thunderclouds* // Phys.Lett. A , 2004, v. 325, pp. 389 – 402;
- 4.Антонова В.П., Вильданова Л.И., Гуревич А.В., Зыбин К.П., Караштин А.Н., Крюков С.В., Рябов В.А., Птицын М.О., Чубенко А.П., Шлюгаев Ю.В., Щепетов А.Л.// *Изучение взаимосвязи процессов в грозовой атмосфере с высокоэнергичными космическими лучами на Тянь-Шаньском экспериментальном комплексе "Гроза"* // Журнал технической физики, 2007, том 77, вып. 11, стр. 109;
- 5.Гуревич А.В., Караштин А.Н., Рябов В.А., Чубенко А.П., Щепетов А.Л. // *Нелинейные явления в ионосферной плазме. Влияние космических лучей и пробоя на убегающих электронах на грозовые разряды* // Успехи физических наук 2009, том 179, № 7, стр. 779 – 790;
- 6.Chubenko A.P., Karashtin A.N., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Antonova V.P., Kryukov S.V., Mitko G.G., Naumov A.S., Pavljuchenko L.V., Ptitsyn M.O., Shalamova S.Ya., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P., Gurevich A.V.// *Energy spectrum of lightning gamma emission* // Physics Letters A 2009, v.373, pp.2953 – 2958;
- 7.Gurevich A.V., Mitko G.G., Antonova V.P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Kryukov S.V., Naumov A.S., Pavljuchenko L.V., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shalamova S.Ya., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P. // *An introcloud discharge caused by extensive atmospheric shower* // Physics Letters A 2009, v.373, pp.3550 – 3553;
- 8.Antonova V.P, Gurevich A.V., Zybin K.P, Karashtin A.N., Kryukov

S.V., Ryabov V.A., Ptitsyn M.O., Chubenko A.P., Shlyugaev Yu.V. and Shchepetov A.L. // *The effect of the thunderstorm activity on the Tien Shan neutron monitor data* // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2009, v. 73, № 3, pp.394-396;

9. Антонова В.П., Вильданова Л.И., Гуревич А.В., ..., Рябов В.А., ... Чубенко А.П. и др. // *Влияние космических лучей и пробоя на убегающих электронах на образование и развитие молний в грозовой атмосфере* // Известия ВУЗов. Радиофизика, 2009, том LII, №9, стр.700;

10. Gurevich A.V., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Mitko G.G., Naumov A.S., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P. // *Gamma-ray emission from thunderstorm discharges* // Physics Letters A 2011, v.375, pp.1619 – 1625;

11. Gurevich A.V., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Antonova V.P., Mitko G.G., Naumov A.S., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P. // *The effective growth of gamma-ray background during a thunderstorm* // Physics Letters A 2011, v.375, pp.4003 – 4006;

12. Gurevich A.V., Antonova V. P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Mitko G.G., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Vildanova L.I., Zybin K.P. // *Strong flux of low-energy neutrons produced by thunderstorms* // Physical Review Letters, 2012, vol. 108, p.125001;

13. Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P., ..., Ryabov V.A., et al // *Cosmic rays and thunderstorms at the Tien-Shan mountain station* // Journal of Physics: Conference Series 2013, v. 409, Article Number 012235 (23rd European Cosmic Ray Symposium, ECRS-2012, 2012, 3-7 July, Moscow, Russia);

14. Mitko G.G., Antonova V.P., Chubenko A.P., ..., Ryabov V.A., et al // *Bursts of gamma-rays, electrons and low-energy neutrons during thunderstorms at the Tien-Shan* // Journal of Physics: Conference Series 2013, v. 409, Article Number 012234 (23rd European Cosmic Ray Symposium, ECRS-2012, 2012, 3-7 July, Moscow, Russia);

15. Gurevich A.V., Antonova V.P., Chubenko A.P., Karashtin A.N., Mitko G.G., Ptitsyn M.O., Ryabov V.A., Shepetov A.L., Shlyugaev Yu.V., Thu W. M., Vildanova L.I., Zybin K.P. // *Correlation of radio and gamma emissions in lightning initiation* // Physical Review Letters, 2013, Vol. 111, p.165001;

УСТАНОВКА “ГОРИЗОНТ”

КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНЫХ ЛИВНЕЙ, ОБРАЗОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ.

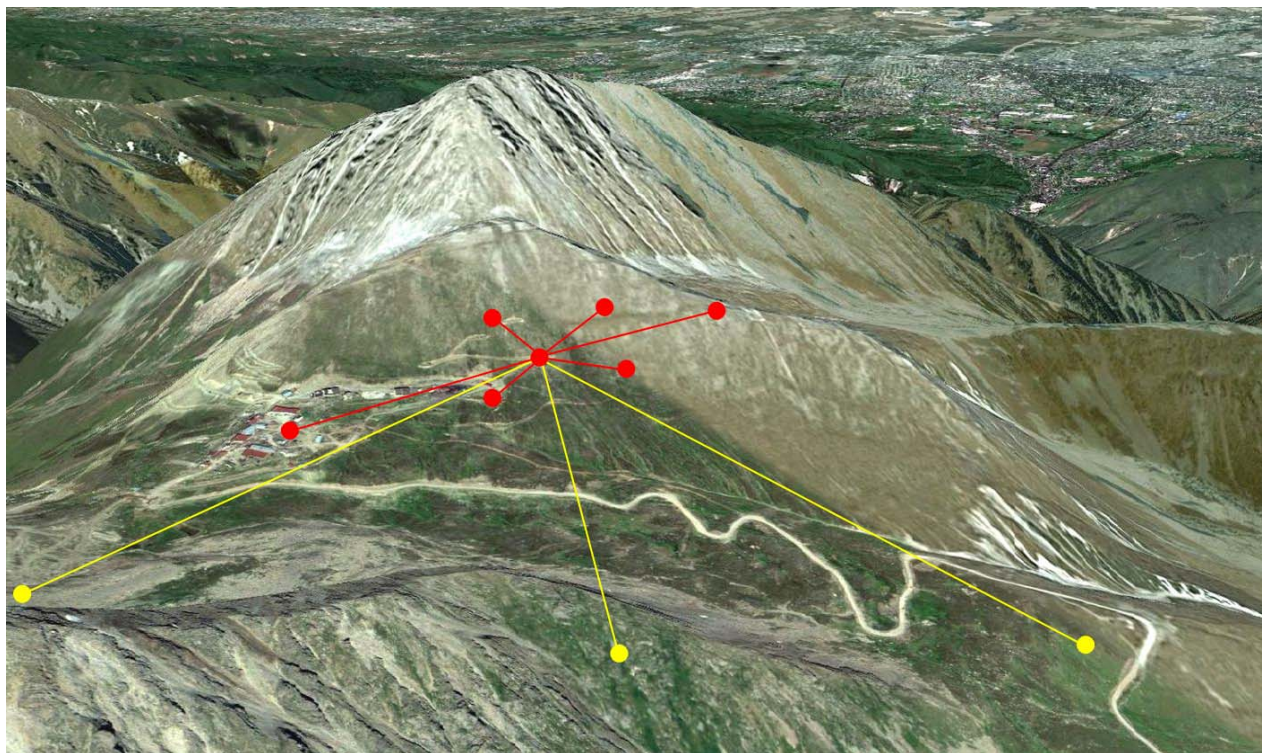
Р.У.Бейсембаев(1), Е.А.Бейсембаева(1), Ю.Н.Вавилов(1),
Н.Г.Вильданов(1), М.И.Вильданова(1), О.Д.Далькаров(1), В.В.Жуков(1),
В.П.Павлюченко(1), В.А.Рябов(1), Н.О.Садуев(2), Т.Х.Садыков(3),
А.В.Степанов(1), Ж.С.Такибаев(2), Н.Ж.Такибаев(2), С.Б.Шаулов(1).

*(1) Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,
Москва, Россия.*

*(2) Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, Алматы,
Республика Казахстан.*

(3) ТОО “Физико-технический институт”, Алматы, Республика Казахстан.

Тянь-Шанская высокогорная научная станция Физического института Российской Академии наук расположена вблизи города Алматы в горах Заилийского Алатау на высоте 3340 м над уровнем моря. Занимается исследованиями космического излучения сверхвысоких энергий.



Установка «Горизонт-Т», установка нового типа, предназначенная для комплексного исследования пространственно-временных характеристик ядерных ливней, порожденных в атмосфере Земли космическими частицами сверхвысоких энергий 10^{16} - 10^{18} эВ. Космические лучи высокой энергии – это поток элементарных частиц и ядер с энергией от 10^9 эВ до 10^{20} эВ. Они приходят к нам из Галактики и внегалактического пространства.



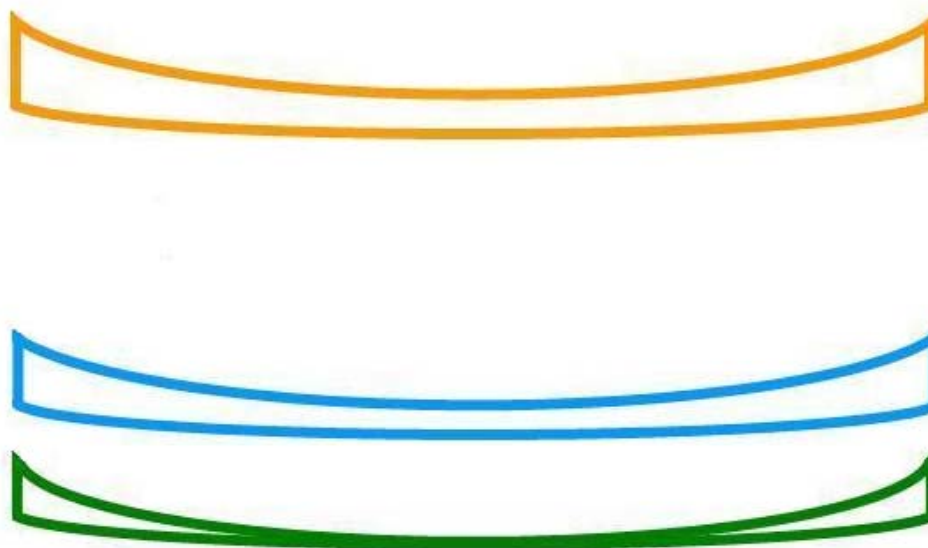
Космическая частица с энергией выше 10^{14} эВ порождает в атмосфере электронно-ядерный ливень, который мы называем широкий атмосферный ливень (ШАЛ).

Состав первичного космического излучения при $E_0 = 10^{15}$ эВ

протоны	40 %
α -частицы (ядро He)	20 %
группа ядер CNO	20 %
группа ядер Al	10 %
группа ядер Fe	10 %

Потомки первичной космической частицы образуют ливневые диски.

Электроны, мюоны и излучение Вавилова-Черенкова ШАЛ образуют каждый свой ливневой диск. Диаметры ливневых дисков достигают 2 км и более.



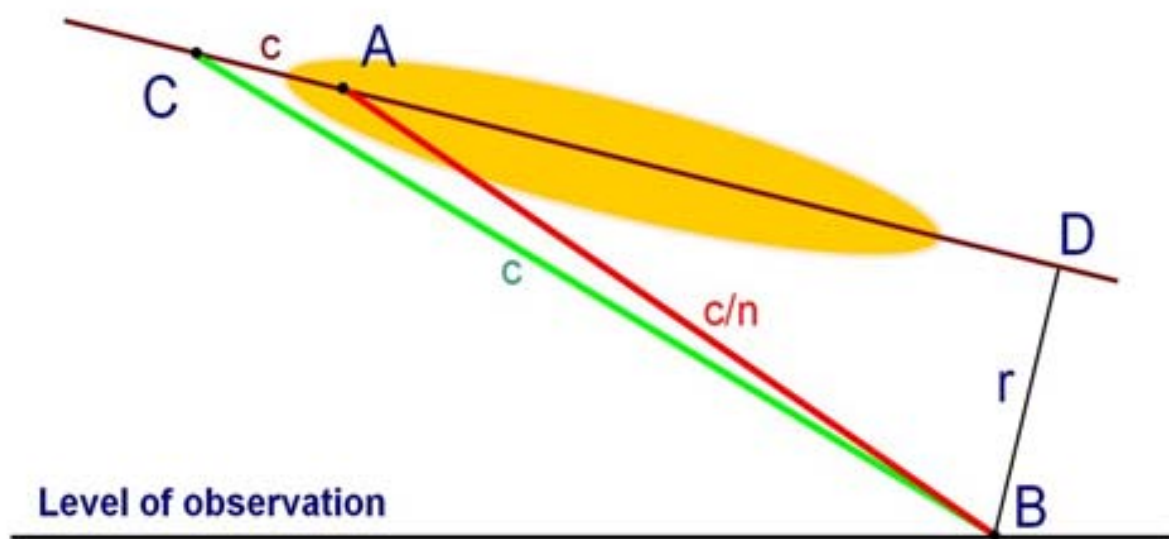
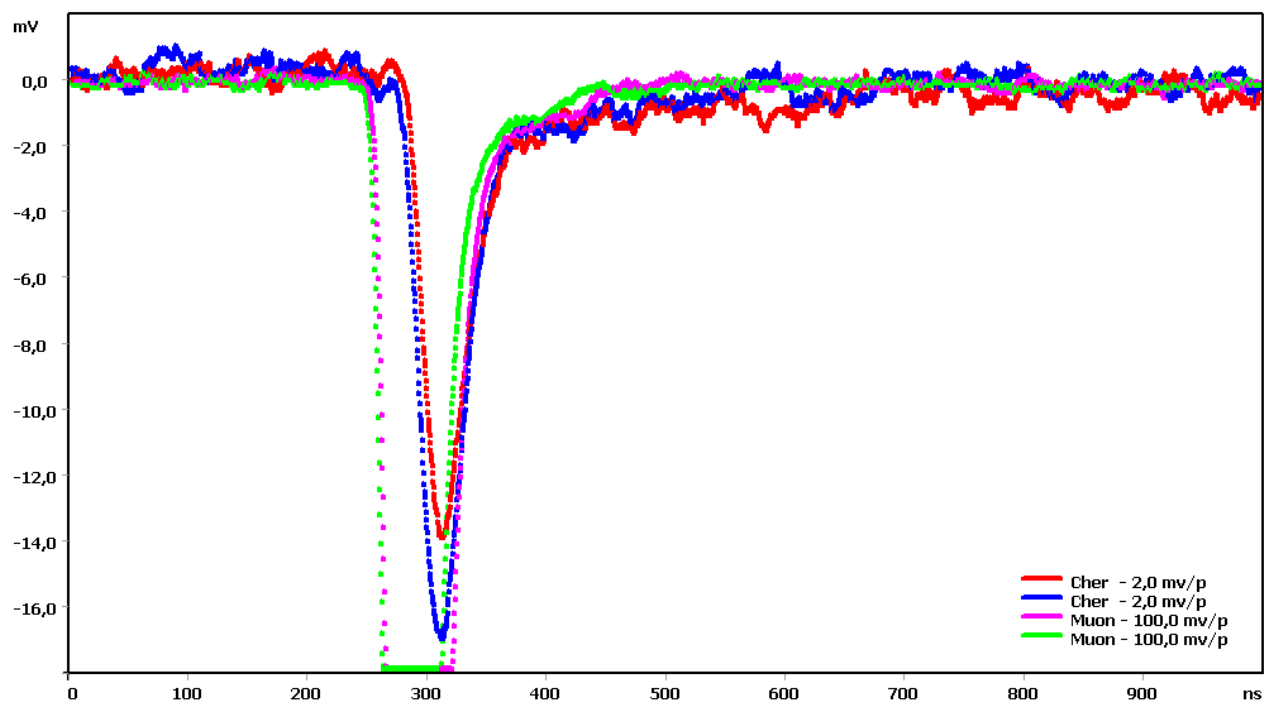
		Скорость	Центр		R=500м	
зелен	Мюоны	с	2 м	6 нс	7 м	20 нс
синий	Электроны	с	3 м	10 нс	15 м	45 нс
оранж	Черенки	с/п	3м	10 нс	20 м	60 нс

В 2011-2012 годах на установке “Горизонт-Т” был обнаружено новое явление в ШАЛ, приходящих на установку под зенитными углами более 70°.

Оказалось, что ливневой диск излучения Вавилова-Черенкова приходит раньше, позже или одновременно с ливневым диском мюонов.

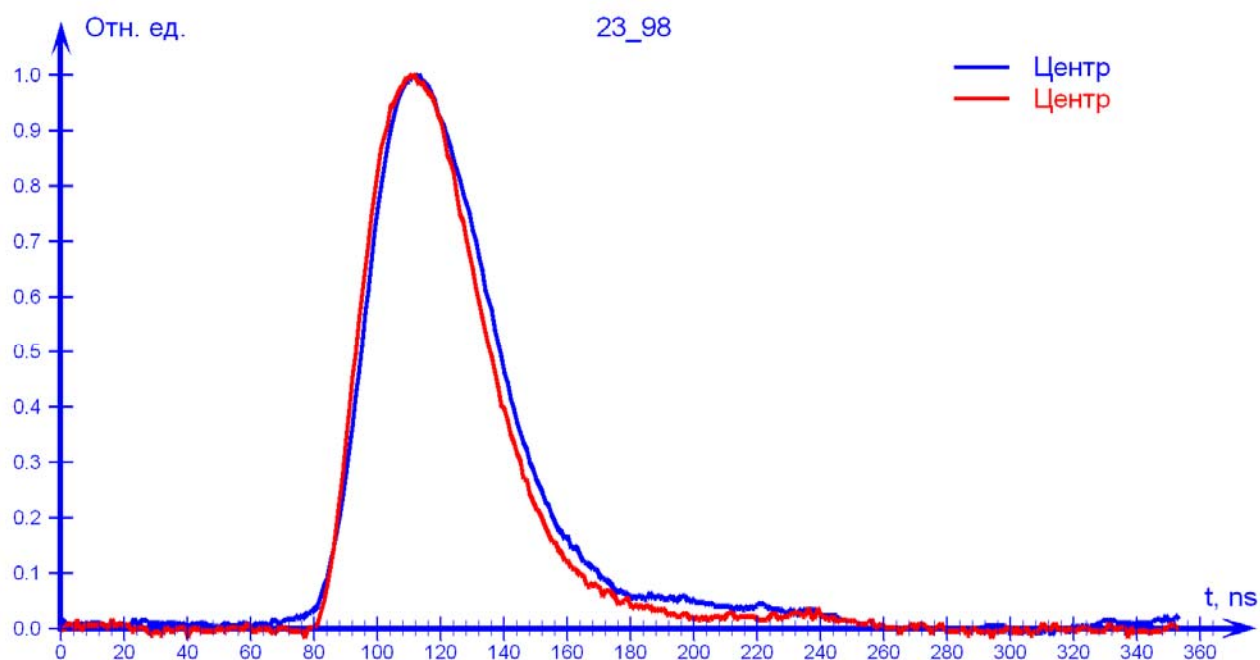
Этот феномен позволяет определять при энергиях выше 10^{16} эВ ядерный состав первичного космического излучения.

Фронт импульса от излучения Вавилова-Черенкова приходит на установку раньше фронта импульса от мюонного потока на время более 15 нс. Анализ показал, что опережение фотонов относительно мюонов формируется в ШАЛ, которые порождены **протонами**.



Фотоны излучения Вавилова-Черенкова приходят раньше мюонов

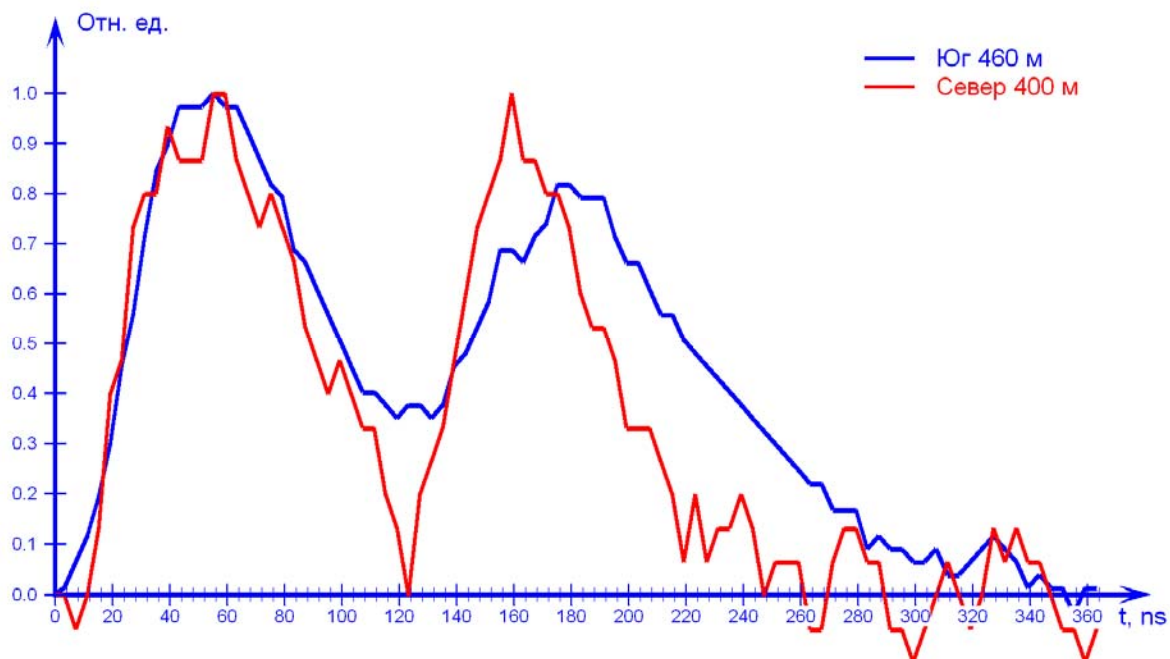
Стандартный импульс от заряженных частиц



Мультимодальные события

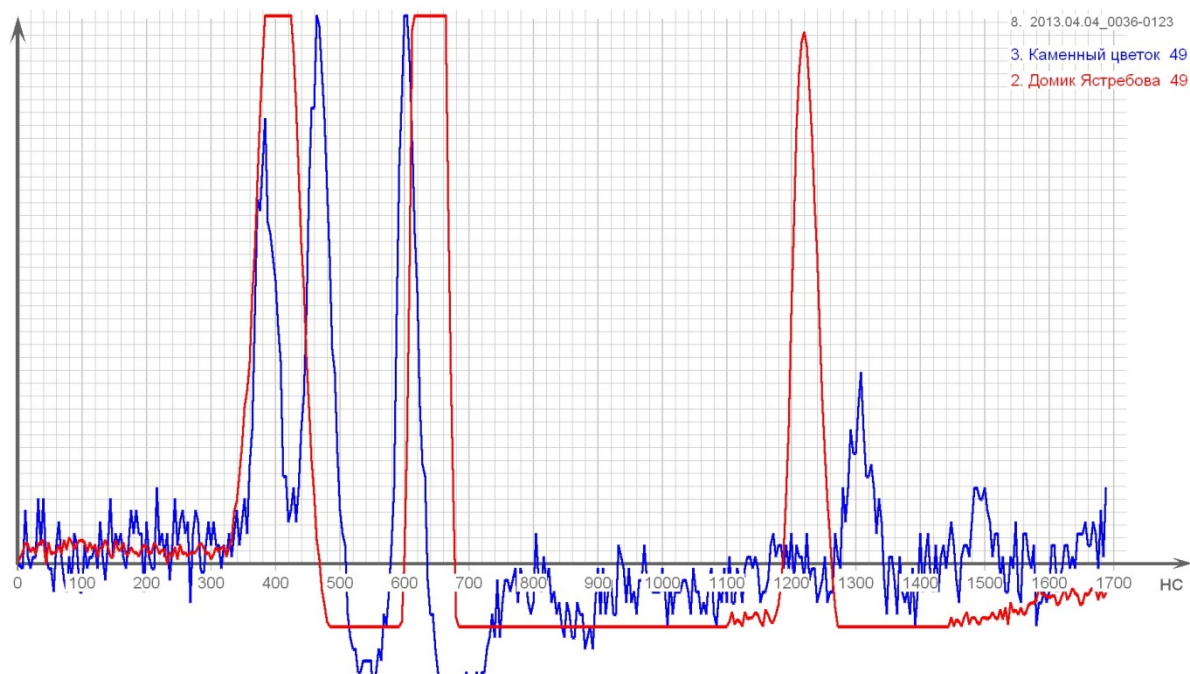
В 1953 году **J.V. Jelley** обнаружил события, в которых наблюдались импульсы с несколькими максимумами. Такие события будем называть **мультимодальными**. На протяжении 60 лет различные группы регистрируют события с мультимодальными импульсами. Современная физика запрещает существование мультимодальных событий.

В 2013 году на установке “Горизонт-Т” были зарегистрированы сотни мультимодальных событий.

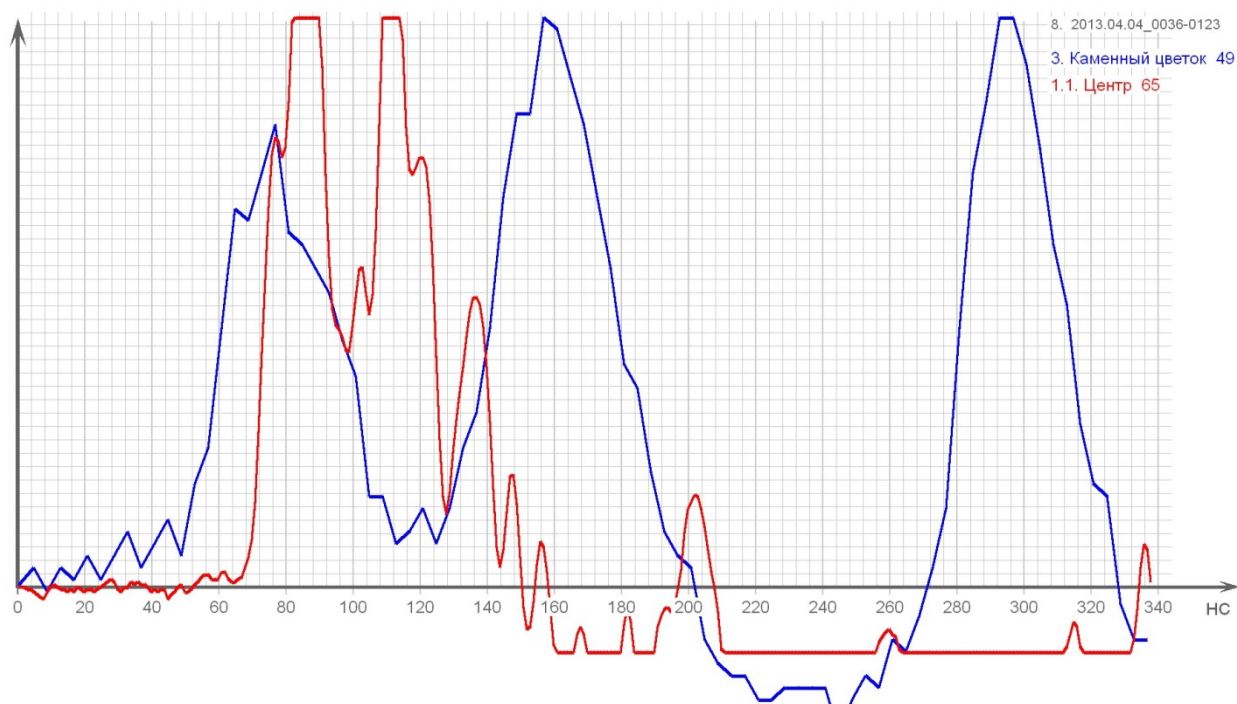


Двойные импульсы, одновременно зарегистрированные детекторами, расположенными на расстоянии 860 м друг от друга.

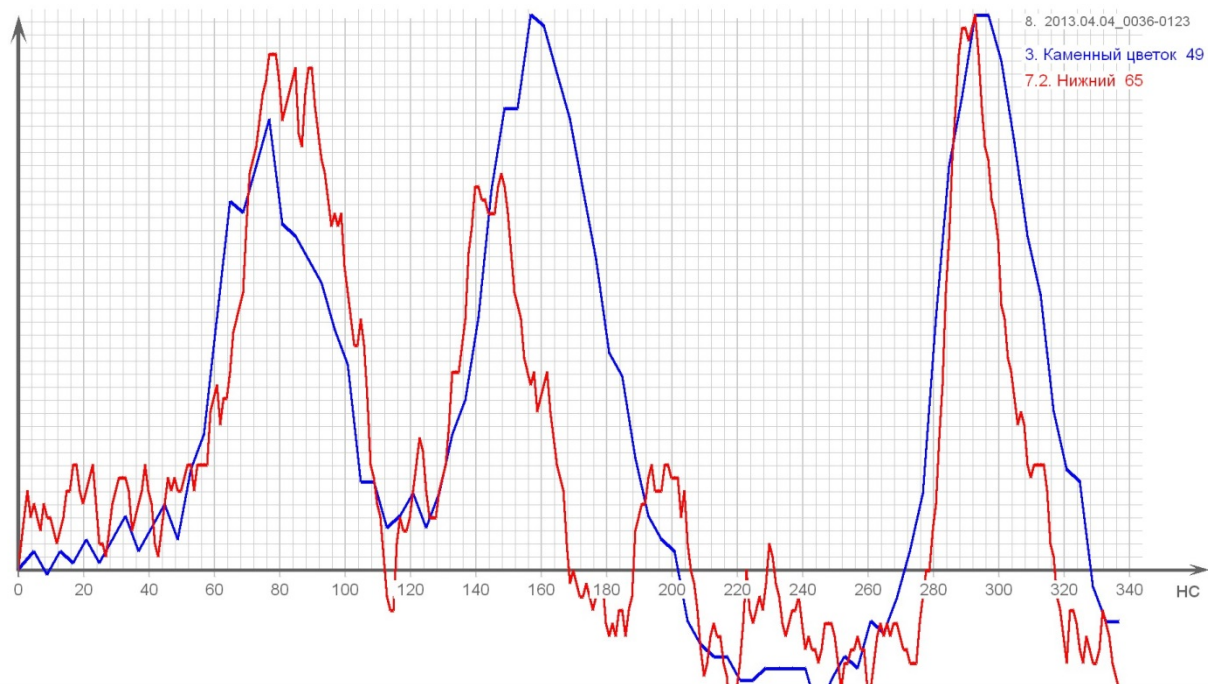
Событие 4 апреля 2013 года



Тройные импульсы, одновременно зарегистрированные детекторами, расположенными на расстоянии 860 м друг от друга.



*Тройные импульсы, одновременно зарегистрированные детекторами,
расположенными на расстоянии 400 м друг от друга.*



*Тройные импульсы, одновременно зарегистрированные детекторами,
расположенными на расстоянии 200 м друг от друга.*

Мы предполагаем, что мультимодальные события порождены группой частиц.

Эксперимент “Горизонт-Т” позволяет определить:

1. Расстояния между частицами в группе.
2. Распределение энергии между частицами в группе.
3. Количество частиц в группе.

В 1928 году Д. В. Скобельцын открыл группы частиц, порожденные космическими лучами. Такие группы были названы **ливнями**. Открытие ливней означало зарождение ядерной физики сверхвысоких энергий.

В 1934 Бруно Росси обнаружил, что поперечник ливней, может достигать сотни метров. Существование таких ливней подтвердил в 1937 году Пьер Оже.

В 1934 г. П.А. Черенков в ФИАНе под руководством С.И. Вавилова обнаружил новое явление - излучение Вавилова-Черенкова, испускаемое заряженной частицей, движущейся в среде быстрее скорости света.

В 1940-х годах сотрудники Дмитрия Скобельцына показали, что поперечник ливней, порожденных космическими лучами, достигает нескольких километров. Такие огромные ливни называют **широкими атмосферными ливнями (ШАЛ)**.

В 1944 году под руководством Дмитрия Скобельцына начались систематические исследования ШАЛ на Памире. Эти исследования показали, что широкий атмосферный ливень формируется в результате развития в атмосфере Земли электронно-ядерного каскада.

В 1955г. на Памире группой сотрудников ФИАН под руководством А.Е. Чудакова впервые в мире была создана специальная установка, одновременно регистрирующая поток электронов от ШАЛ и вызываемое им излучение Вавилова-Черенкова из атмосферы.

В 1959-1961 годах исследования космического излучения сверхвысоких энергий были перенесены с Памира в горы Заилийского Алатау на станцию, расположенную в 32 км от города Алматы.

Более 50 лет на нашей станции проводятся исследования ШАЛ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

История установки

НАЗНАЧЕНИЕ УСТАНОВКИ	3
ДЕТЕКТОРЫ РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТ ШАЛ Тянь-Шаньской установки	7
ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ НА Тянь-Шаньской установке по исследованию ШАЛ	19
ЖИЗНЬ НА СТАНЦИИ	21
МЕЖДУНАРОДНЫЙ WORK SHOP 2006 г ТШВНС ФИАН	36

Современные исследования на Тянь-Шаньской станции

КОМПЛЕКС «АТЛЕТ»	41
УСТАНОВКА «АДРОН-М»	43
УСТАНОВКА «ГРОЗА»	51
УСТАНОВКА «ГОРИЗОНТ»	57

Подписано в печать 17.04.2014 г.
Формат 60x84/16. Заказ № 20. Тираж 2000 экз. П.л 4.
Отпечатано в РИИС ФИАН с оригинал-макета заказчика
119991 Москва, Ленинский проспект, 53. Тел. 499 783 3640