

О.Д.Далькаров. Исследование
физики космических лучей в
ФИАН

К 120-летию Д.В.Скобелевца

ФИАН 28.11.2012

С.И.Вавилов. «Физический кабинет-физическая лаборатория-Физический институт Академии наук за 220 лет». УФН (1946 г.)

- «1) Лаборатория атомного ядра, руководимая членом-корреспондентом Академии наук Д.В.Скобельцыным. В составе лаборатории состоят: д-р физ.-мат. наук В.И.Векслер, д-р физ.-мат. наук И.М.Франк, д-р физ.-мат. наук С.Н.Вернов, д-р физ.-мат. наук П.А.Черенков, д-р физ.-мат. наук Л.В.Грошев. Основная проблема лаборатории - исследование физики космических лучей.
- 7) Лаборатория теоретической физики, руководимая членом-корреспондентом Академии наук И.Е.Таммом. В состав лаборатории входят: академик В.А.Фок, д-р физ.-мат. наук В.Л.Гинзбург, д-р физ.-мат. наук К.В.Никольский, д-р физ.-мат. наук Е.Л.Фейнберг, д-р физ.-мат. наук М.А.Марков, член-корреспондент АН УССР Д.И.Блохинцев. Основное направление лаборатории –теория атомного ядра, теория космических лучей и другие вопросы теоретической физики»

- Июнь 1945 г. – на заседании Ученого Совета ФИАН, посвященному юбилею института был заслушан доклад Д.В.Скобельцына «О работах Памирской экспедиции ФИАН 1944 г. по исследованию космической радиации»
- Февраль 1950 г. – доклад Д.В.Скобельцына о работах по космическим лучам на Общем собрании Академии наук
- 1951 г. – Д.В.Скобельцын, Н.А.Добротин и Г.Т.Зацепин были удостоены Сталинской премии 1-ой степени за открытие электрон-ядерных ливней и ядерно-каскадного процесса в космических лучах
- 1982 г. – присуждение Ленинской премии коллективу во главе с Д.В.Скобельцыным за многолетний цикл работ по изучению фундаментальных свойств космических лучей сверхвысоких энергий



Коллаборация «Памир»

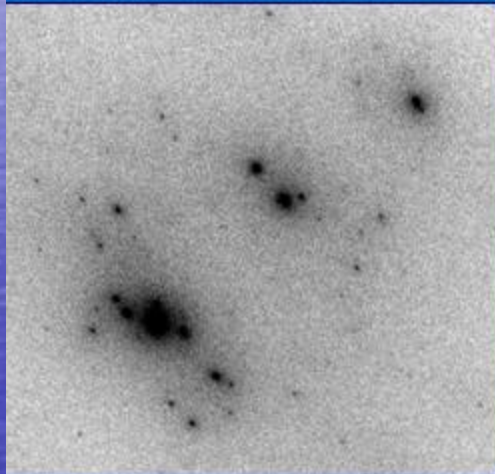
Участники сотрудничества

- ❑ Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН
- ❑ Институт ядерных исследований РАН
- ❑ НИИ Ядерной физики МГУ
- ❑ Институт физики АН ГССР, Тбилиси
- ❑ Институт физики высоких энергий АН Каз.ССР, Алма-Ата
- ❑ Физико-технический институт им. С.У.Умарова АН Тадж.ССР, Душанбе
- ❑ Физико-технический институт им. С.В.Стародубцева АН Уз.ССР, Ташкент
- ❑ Институт физики Лодзинского университета, Лодзь, Польша
- ❑ Высшая педагогическая школа, Кельце, Польша
- ❑ Институт ядерной физики, Краков, Польша

КЛ и АСТРОФИЗИКА в ФИАН

- Исследование первичного состава
- Структура широких атмосферных ливней
- Экзотические события (проникающая компонента, выстроенность гамма-семейств, кентавры, ...)
- Нейтринная астрономия и гамма-астрономия высоких и сверхвысоких энергий
- Темная материя ...
Памир (Таджикистан), ТШВНС (Казахстан)
Арагац (Армения)

Необычные явления в эксперименте «Памир» (компланарные семейства)



Эффект состоит в тенденции к выстроенности высокоэнергичных частиц в γ -h семействах вдоль прямой линии.

Отбирались частицы с $E_0 \geq 10$ TeV:

- a) Одиночные адроны
- b) Одиночные гамма-кванты
- c) Кластеры гамма-квантов
- d) Центры гало

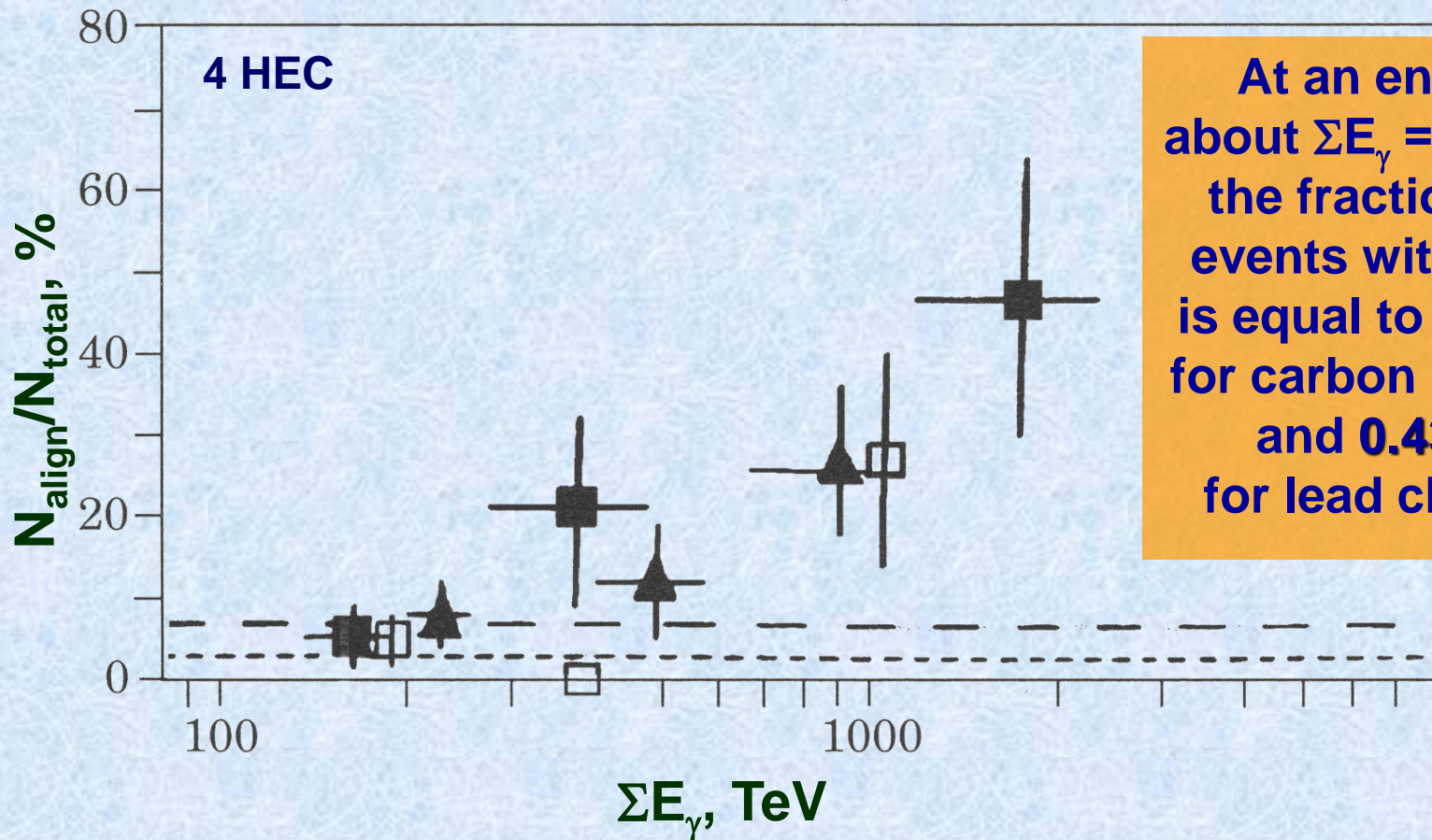
For quantitative definition of events with **N** cores aligned along one straight line, the following criterion was introduced:

$$\lambda_N = \frac{\sum_{i \neq j \neq k}^N \cos 2\varphi_{ij}^k}{N(N-1)(N-2)}$$

where φ_{ij}^k is the angle between the straight lines connecting the i^{th} and j^{th} cores with the k^{th} core.

The parameter $\lambda_N = 1$ in the case of complete alignment of **N** cores along one straight line and tends to $-1/(N-1)$ in an isotropic distribution case.

Families containing N-core structures, composed of the HEC and characterized by $\lambda_N \geq \lambda_C = 0.8$ are referred to as aligned events.



At an energy of about $\Sigma E_\gamma = 1'000$ TeV the fraction of the events with $\lambda_4 \geq 0.8$ is equal to 0.26 ± 0.09 for carbon chambers and 0.43 ± 0.17 for lead chambers

Dependence of the fraction of families with alignment on ΣE_γ

Experiment: ■ Pb-chamber data, □ C-chamber data

Simulations:

▲ artificial families

.....
- - - -

randomly incident objects

Характеристики полетов

«СТРАНА»

(эксперимент К.А.Котельникова и др.,
ФИАН)

Эмульсионная камера на борту
автоматического баллона-
аэростата, совершившего
полет по маршруту Камчатка —
Поволжье в 1975 г.

Средняя высота полета —
30–33 км (около 10–11 г/см²).

Длительность полета — около
147 часов.

JF2af2 (Concord)

(эксперимент J.Capdevielle et al.)

Эмульсионная камера на
борту сверхзвукового
самолета «Конкорд».

Средняя высота полета —
17 км (около 100 г/см²).

Общие характеристики суперсемейств

«СТРАНА»

Зенитный угол $\theta = 30^\circ$

Всего 107 частиц ($E_{\text{порог.}} = 3 \text{ ТэВ}$) :

30 адронов и 70 гамма-квантов +
лидирующая струя

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma E_\gamma = 1670 \text{ ТэВ} \\ \Sigma E^{(\gamma)}_h = 807 \text{ ТэВ} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{измеренная} \\ \text{энергия в РЭК} \end{array}$$

После введения поправок на
обрезание краем пленки и на k_γ и
на эффективность регистрации для
адронов:

$$\Sigma E_\gamma + \{\Sigma E^0_h\} / K_{\text{эфф.}} \approx 0.92 \cdot 10^{16} \text{ эВ} \\ + (1-2) \cdot 10^{15} \text{ эВ} \text{ дает лидир. частица}$$

Итого

$$E_0 = (1.0 - 1.1) \cdot 10^{16} \text{ эВ}$$

JF2af2 (Concord)

Зенитный угол $\theta = 52^\circ$

Всего 211 частиц,
все гамма-кванты.

$$E_{\text{порог.}} = 0.2 \text{ ТэВ}$$

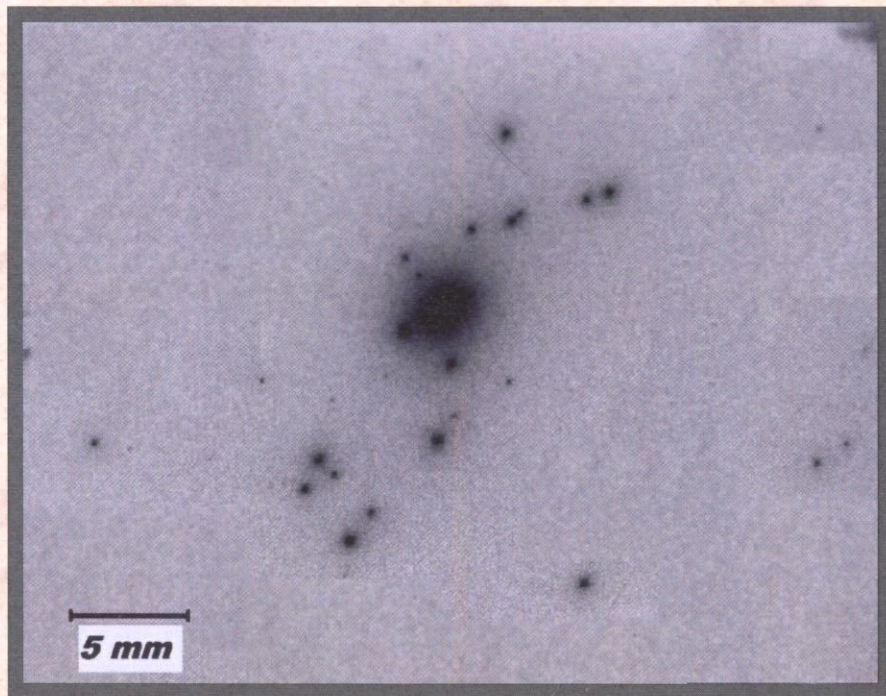
$$\Sigma E_\gamma \approx 1600 \text{ ТэВ}$$

Оцененная

$$E_0 \approx (0.5 - 1) \cdot 10^{16} \text{ эВ}$$

Вид в рентгеновской эмульсии

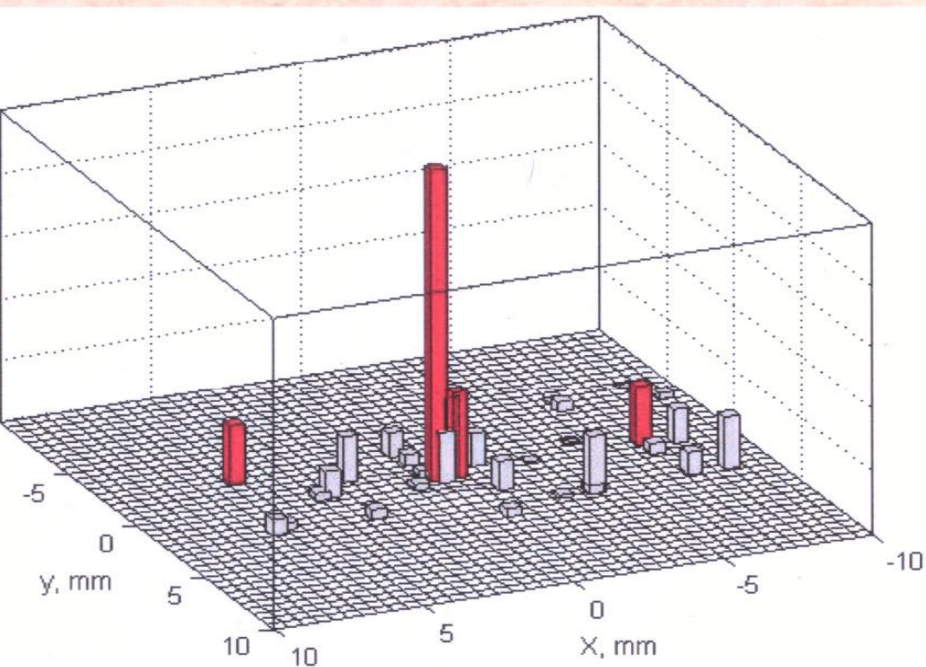
«СТРАНА»



JF2af2 (Concord)



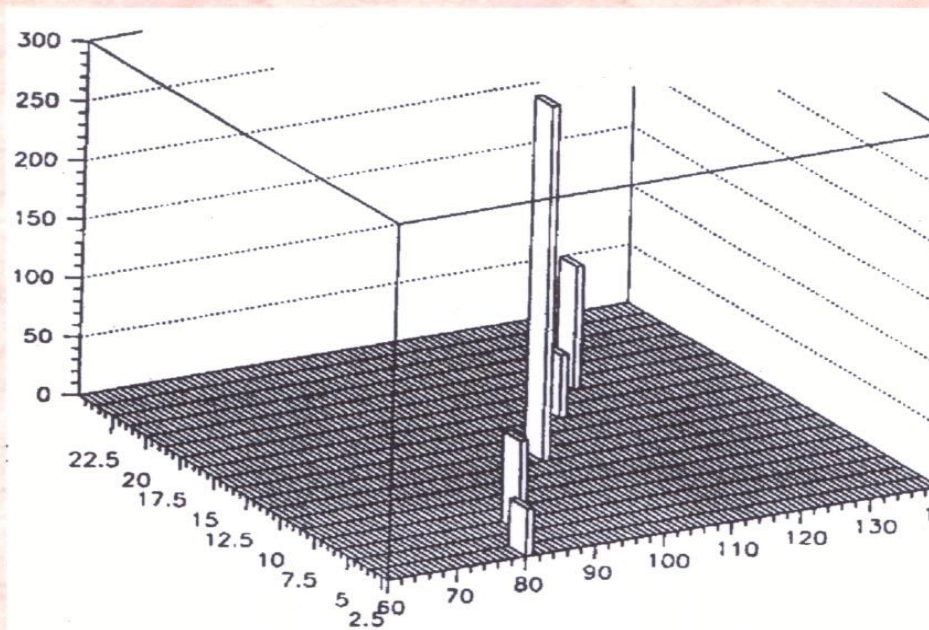
Выстроенность 5-ти энерг. частиц СТРАНА



$$r = 0.98, \lambda_4 = 0.99, \lambda_5 = 0.90$$

Вероятность такой случайной конфигурации (расчеты по QGSJET):
семейств от первичного протона
составляет 0.01%, для первичного
железа 0.03%.

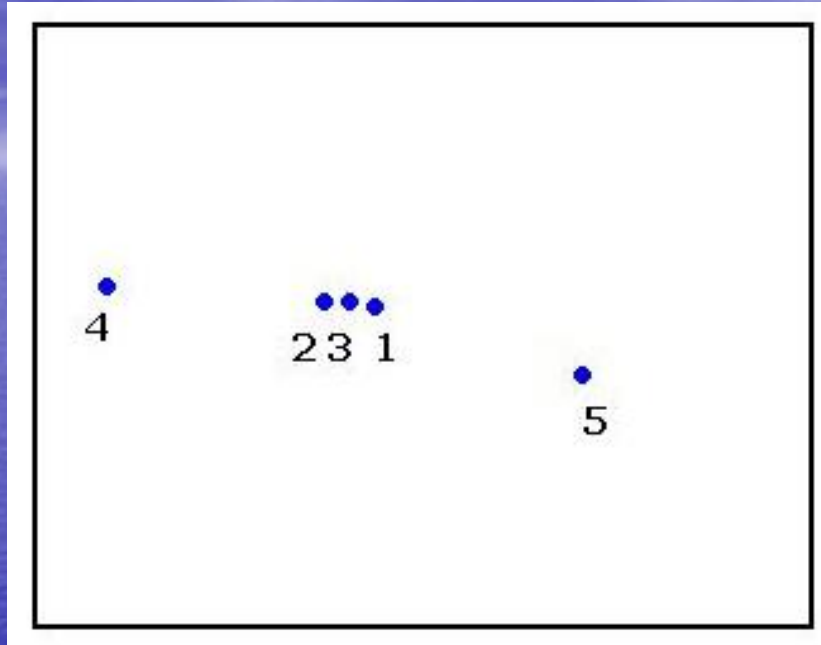
JF2af2 (Concord)



$$r_4 = 0.9993 \text{ или } \lambda_4 = 0.9972$$

для 4-х ЭВЦ.

$r = 0.992$ для 38 энергичных
 γ -квантов, несущих 808 ТэВ
(51% от ΣE_γ)





Обнаружение ridge в pp -столкновениях

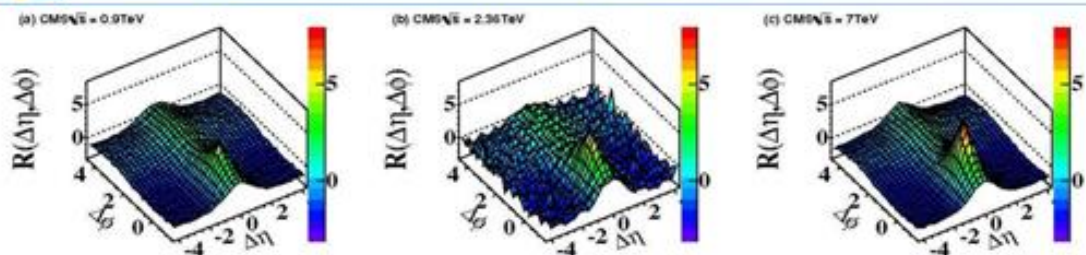


Figure 2: Two-particle correlation functions versus $\Delta\eta$ and $\Delta\phi$ in pp collisions at $\sqrt{s} =$ (a) 0.9, (b) 2.36, and (c) 7 TeV.

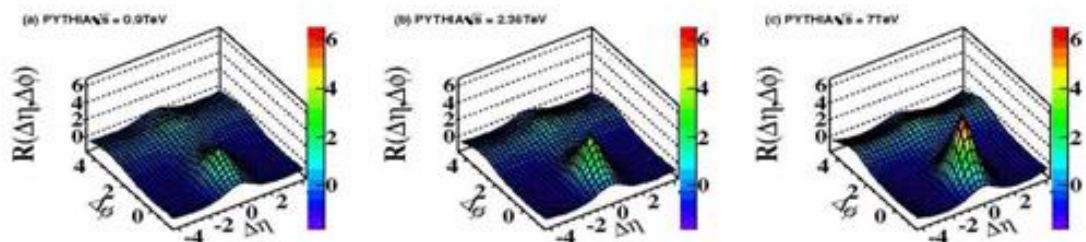
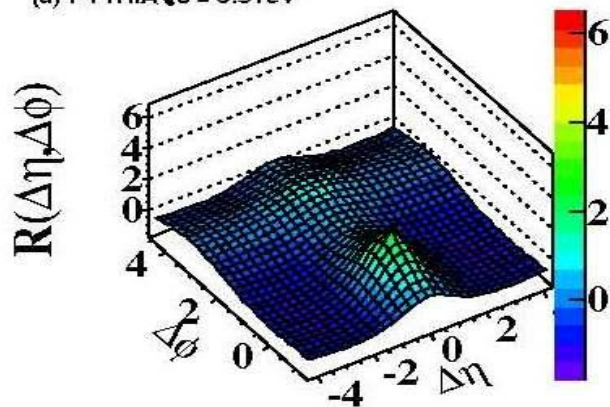
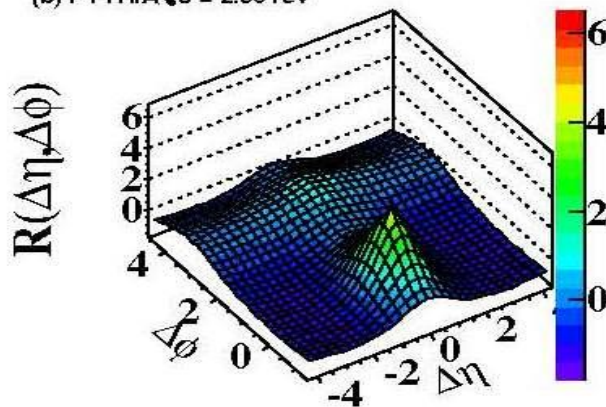


Figure 3: Two-particle correlation functions versus $\Delta\eta$ and $\Delta\phi$ in PYTHIA D6T tune at $\sqrt{s} =$ (a) 0.9, (b) 2.36, and (c) 7 TeV.

(a) PYTHIA $\sqrt{s} = 0.9\text{TeV}$



(b) PYTHIA $\sqrt{s} = 2.36\text{TeV}$



(c) PYTHIA $\sqrt{s} = 7\text{TeV}$

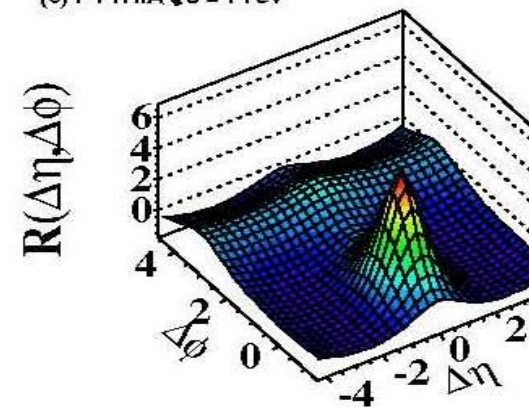
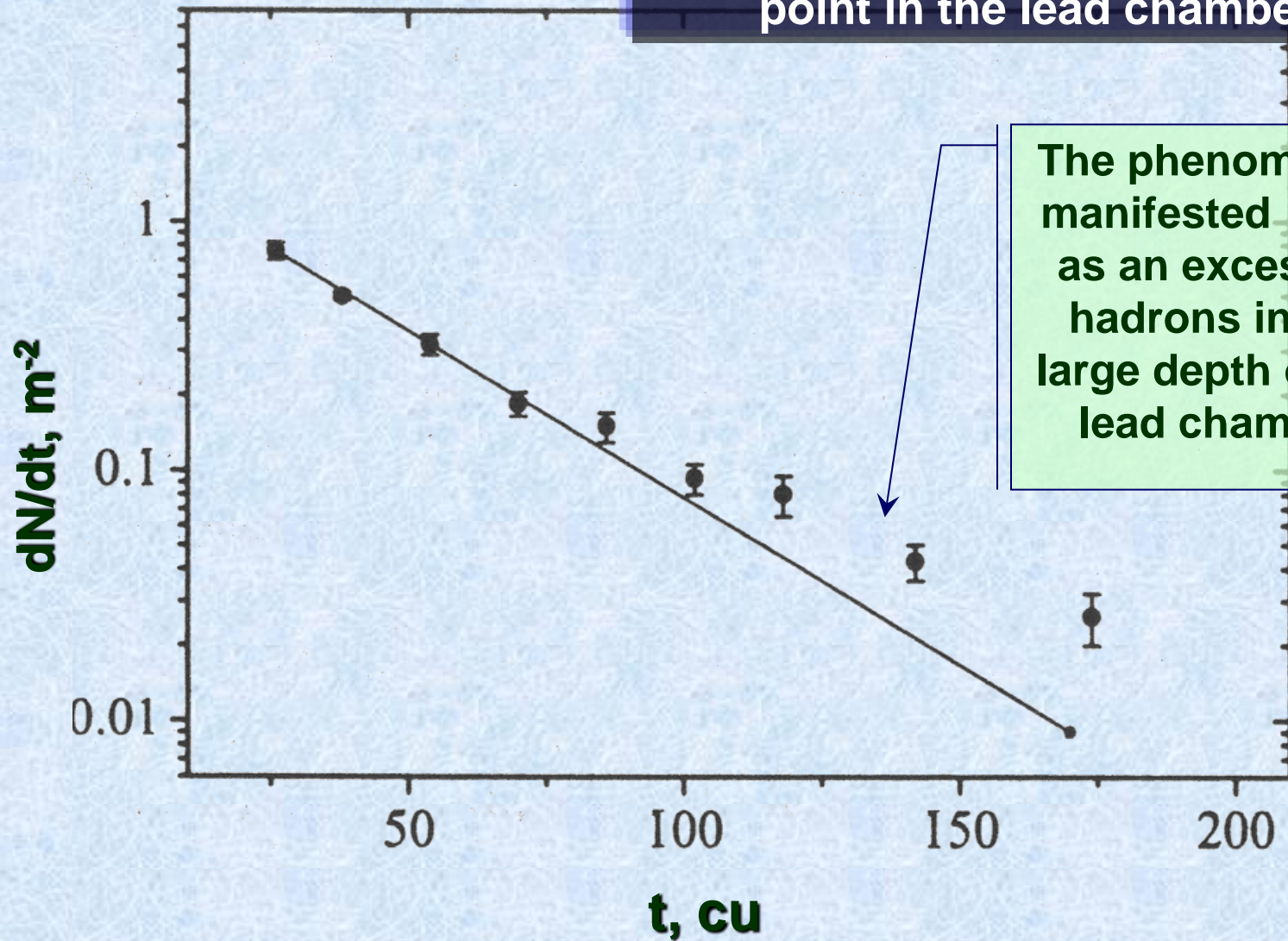


Figure 3: Two-particle correlation functions versus $\Delta\eta$ and $\Delta\phi$ in PYTHIA D6T tune at (a) 0.9, (b) 2.36, and (c) 7 TeV.

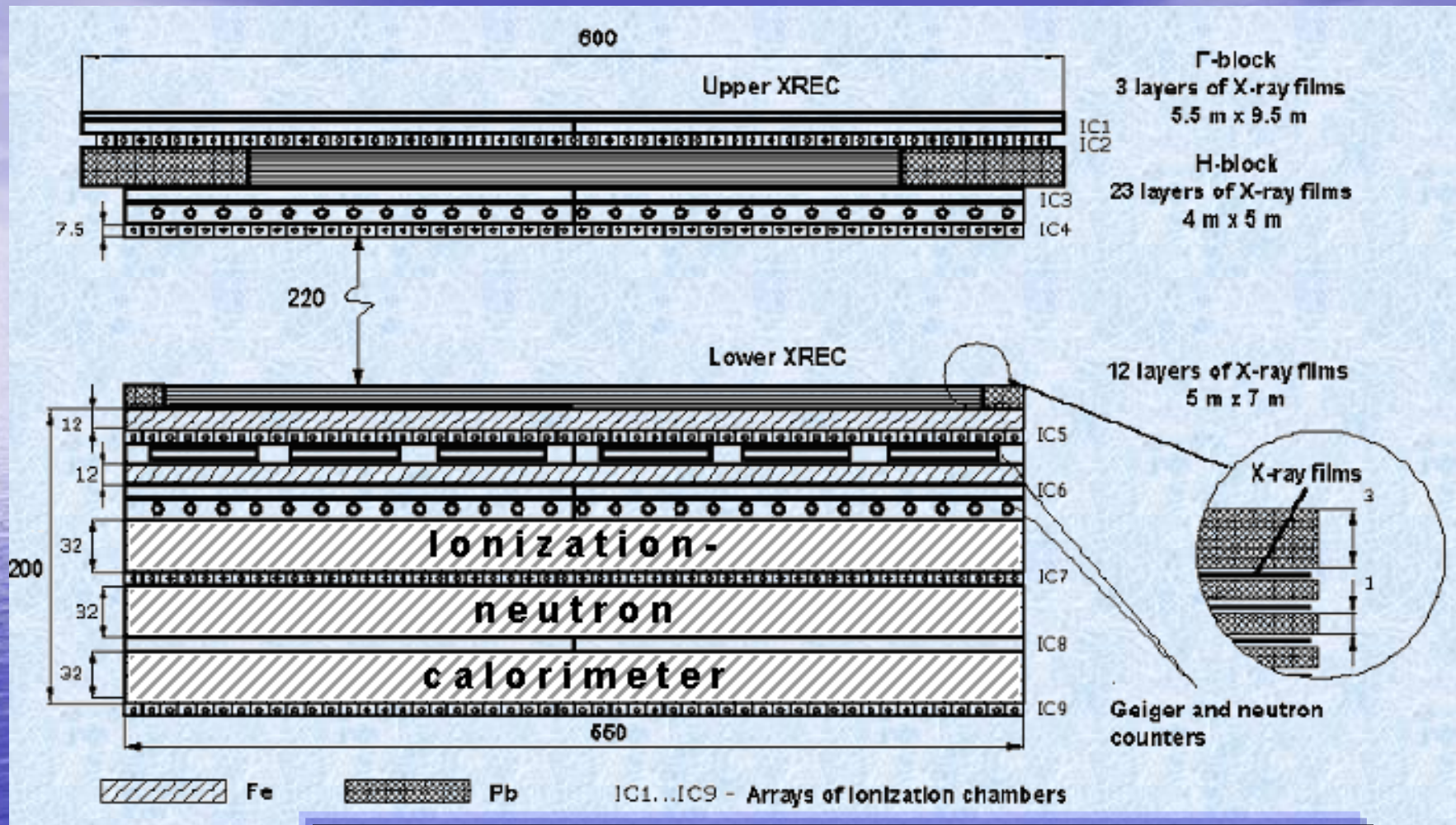
Penetrating hadrons with abnormal absorption

Distribution of the cascade origin point in the lead chamber



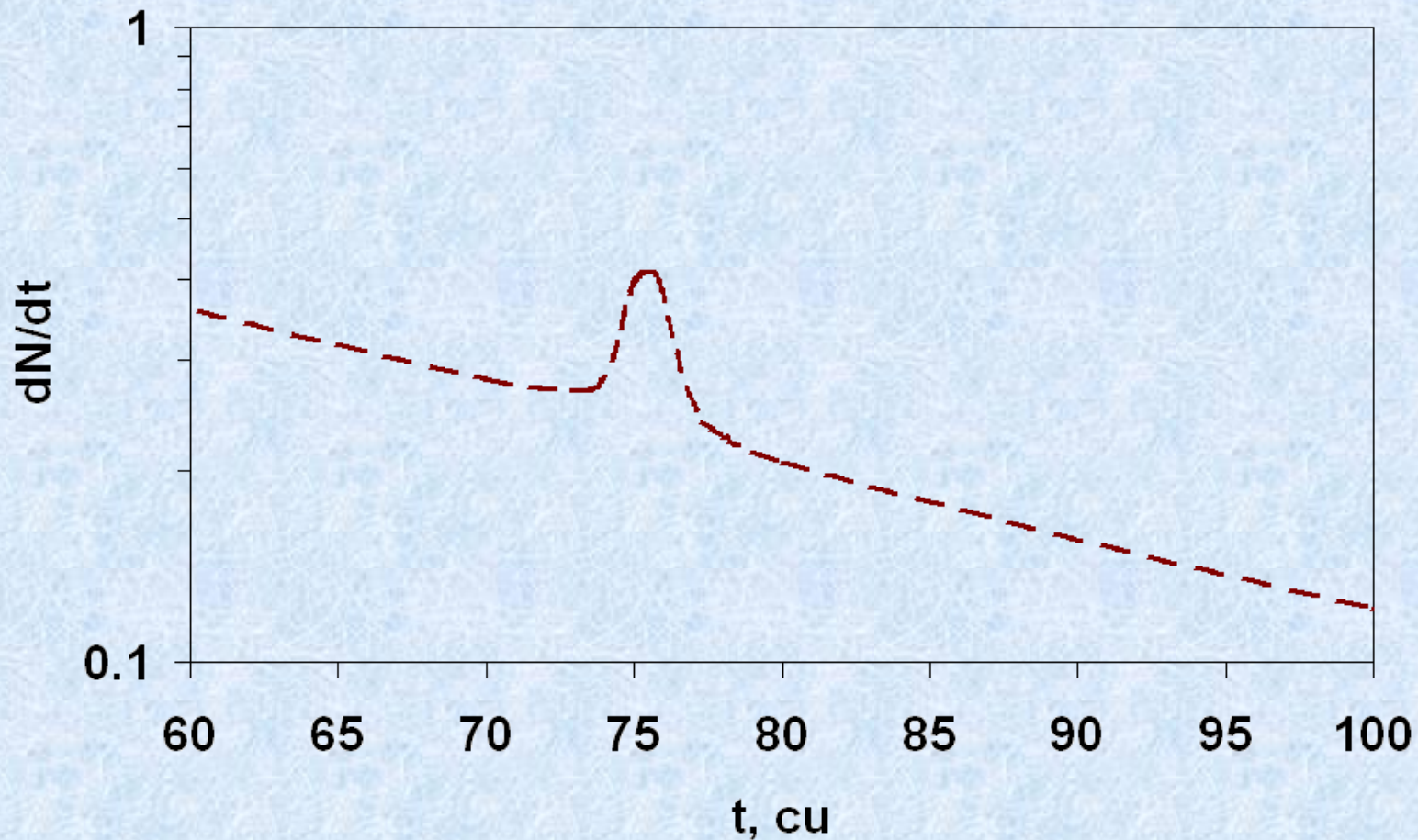
The phenomenon manifested itself as an excess of hadrons in the large depth of the lead chamber

Emulsion chamber with air gap

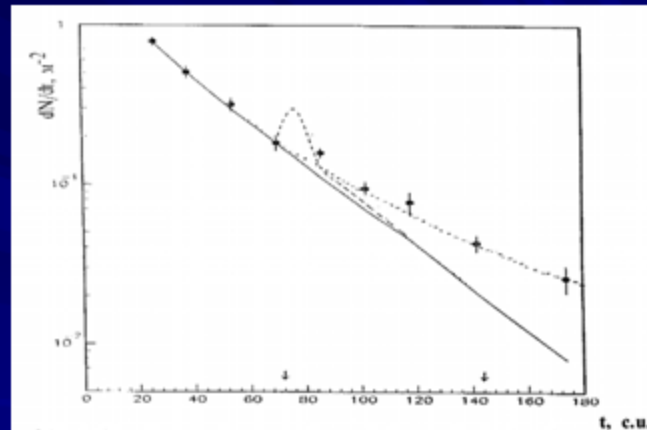


A section view of ionization-neutron calorimeter and two X-ray emulsion chambers above it

**Excessive cascades
are initiated by charm particles**



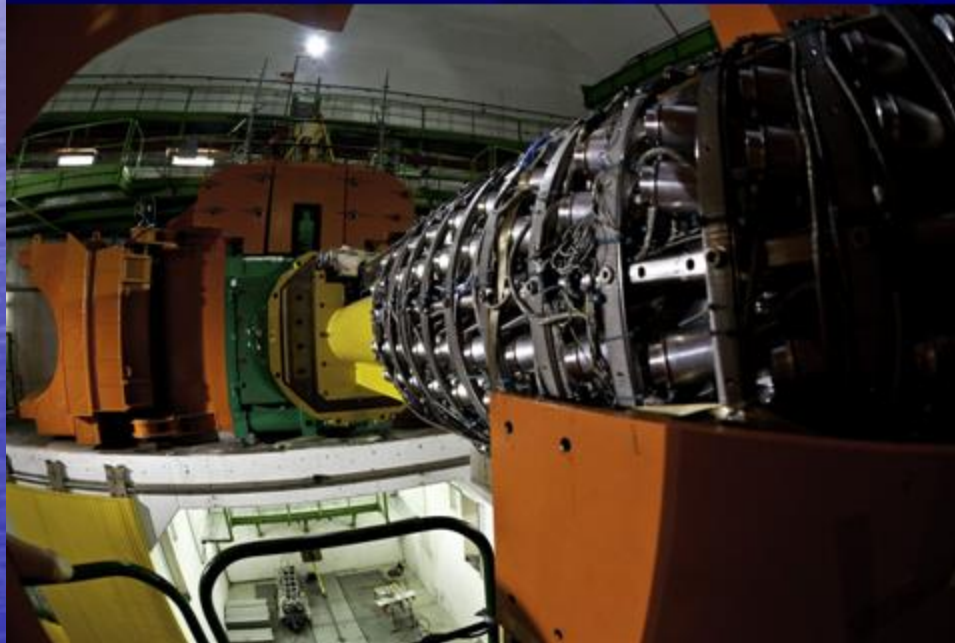
Exotic Phenomena study with 2-storied XREC at the Pamirs



Distribution of cascade origin points in deep uniform lead chamber

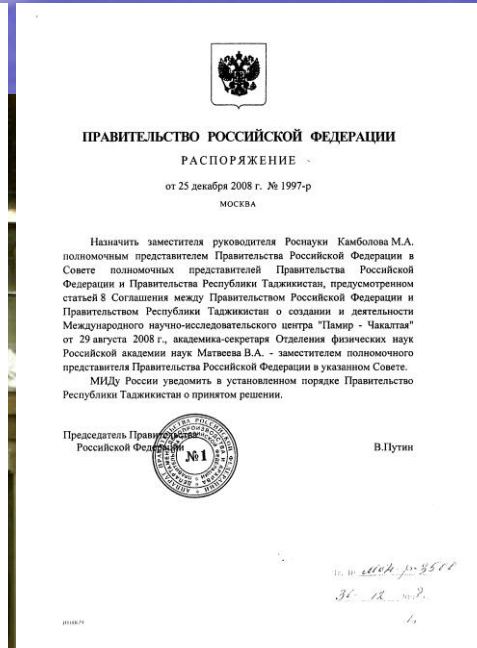
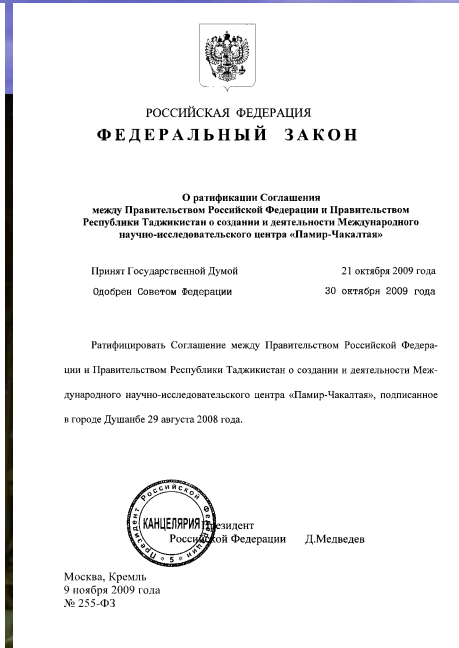
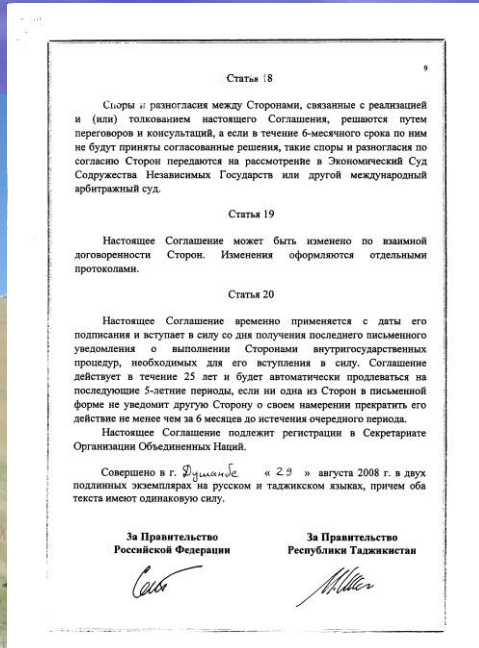
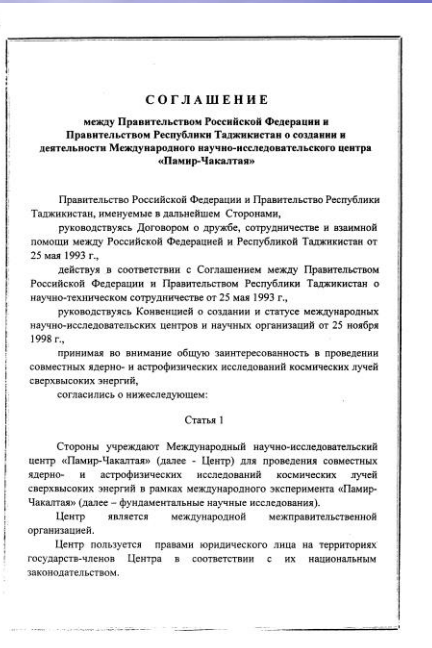
October 2009, Moscow, Russia

CMS-CASTOR



Потенциал Восточного Памира

для развертывания крупномасштабного астрофизического эксперимента



1. Учреждение МНИЦ "Памир-Чакалтая" как международной межправительственной организации, открытой для участия в ее деятельности заинтересованных научных учреждений из любых стран.

2. Функционирование научного полигона Ак-Архар МНИЦ-ПЧ, обладающего большими запасами ценных конструкционных материалов для будущей установки:

■ свинцовый листовый прокат толщиной 1 см ($\rho=11.34 \text{ г/см}^3$) ~ 1300 т

■ пластины резины толщиной 3, 4, 5 см ($\rho=1.24 \text{ г/см}^3$) ~ 560 т

Проект комплексной установки *“Памир-XXI”*

для многокомпонентного изучения ШАЛ и ПКЛ сверхвысоких энергий
в рамках МНИЦ *“Памир-Чакалтая”*

$$E_0 = 10^2 \div 10^6 \text{ ТэВ}$$

Высота наблюдения – 4300 м.н.у.м. (600 г/см²)

Место расположения – Восточный Памир

Поиск подходящей экспериментальной площадки



Полигон "Копуч-Куль" (Восточный Памир, Н=4260 м н.у.м.)

Основные компоненты и параметры комплексной установки “Памир-ХХТ”

- глубокий (~3,5 м) свинцово-уплодный калориметр общей площадью 192 м², совмещенный с РЭК и толчковой установкой, выполненной в виде сплошных крест-накрест лежащих рядов пластиковых сцинтилляционных счетчиков с оптоволоконным съемом информации (в центре);
- две концентрические ливневые системы вокруг калориметра: одна – плотная с шагом 5 м, площадью 80 x 80 м² и высоким порогом регистрации, а другая – разреженная с шагом 85 м, площадью 1 x 1 км² и низким порогом регистрации;
- хронометрическая система из 8-ми сцинтилляционных пунктов для определения углов прихода ШАЛ по запаздыванию прихода фронта ШАЛ в разные пункты ливневой системы;
- система из 157 разнесенных по площади ~1 км² черенковских детекторов на основе ФЭУ ЕМ1.9350 с диаметром полусферического фотокатода 20 см для определения формы и амплитуды поперечного распределения (ФПР) ЧС ШАЛ dQ/dR , а также характеристик формы импульса (временного распределения) ЧС ШАЛ dQ/dT (шаг в центральной части – 25 м, на периферии – 85 м);
- четыре широкоугольных (с полем зрения не менее 20° и размером пикселей мозаики ФЭУ 0,5-1,0°) растровых черенковских телескопов (РАСТ) для определения пространственно-углового распределения ЧС индивидуальных ШАЛ;
- лидар для контроля за качеством ночной атмосферы.

Схема расположения детекторов в установке "Памир-XXI" *Центральная часть ливневой установки.*

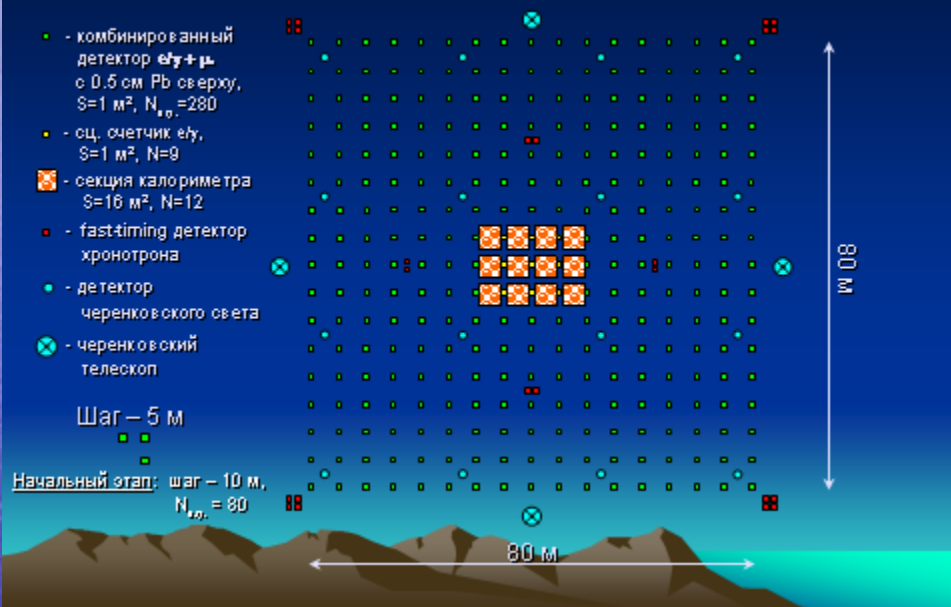
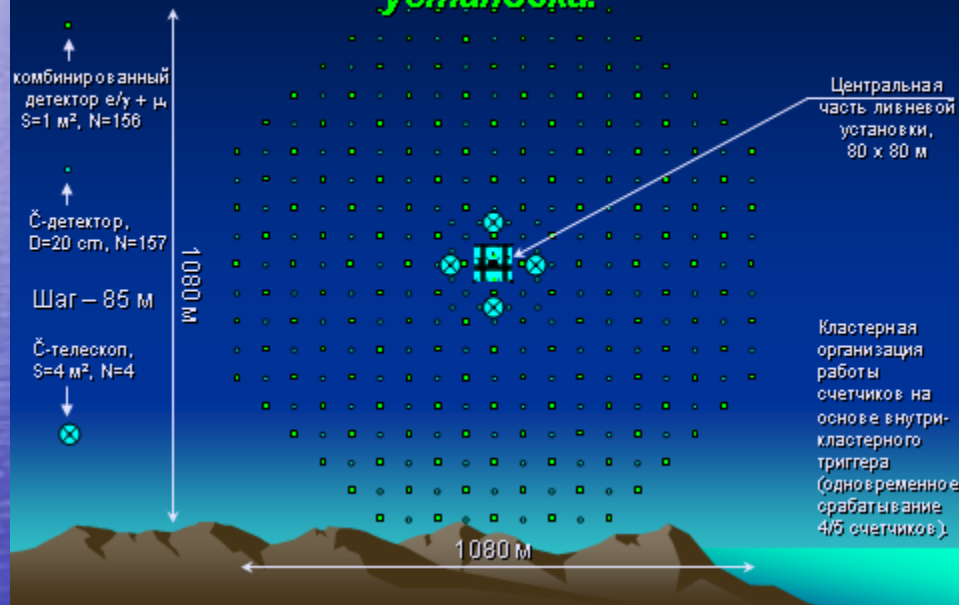


Схема расположения детекторов в установке "Памир-XXI" Периферическая часть ливневой установки.



XVI”

для проведения физических измерений

- по-событийное определение функции пространственного распределения (ФПР) потоков энергии электронно-фотонной, адронной, мюонной компонент ШАЛ, а также потока черенковского излучения;
- измерение координат и энергии наиболее энергичных частиц в стволе ШАЛ по данным РЭК;
- измерение звездных координат прихода ШАЛ;
- определение калориметрическим способом энергии первичной частицы E_0 путем измерения энергии каждой компоненты ШАЛ;
- разделение событий по основным группам ядер;
- выделение ШАЛ от первичных γ -квантов;
- определение энергии первичной частицы E_0 с точностью $\sim 15\%$ и глубины максимума развития ШАЛ X_{\max} с точностью $\sim 30\%$ по ЧС ШАЛ для индивидуальных ливней;
- определение заряда первичной частицы по прямому черенковскому излучению;

XVI”

для проведения физических

измерений

- по-событийное определение функции пространственного распределения (ФПР) потоков энергии электронно-фотонной, адронной, мюонной компонент ШАЛ, а также потока черенковского излучения;
- измерение координат и энергии наиболее энергичных частиц в стволе ШАЛ по данным РЭК;
- измерение звездных координат прихода ШАЛ;
- определение калориметрическим способом энергии первичной частицы E_0 путем измерения энергии каждой компоненты ШАЛ;
- разделение событий по основным группам ядер;
- выделение ШАЛ от первичных γ -квантов;
- определение энергии первичной частицы E_0 с точностью $\sim 15\%$ и глубины максимума развития ШАЛ X_{\max} с точностью $\sim 30 \text{ г/см}^2$ по ЧС ШАЛ для индивидуальных ливней;
- определение заряда первичной частицы по прямому черенковскому излучению;

Возможности установки "Патриарх-XXI"

для решения физических задач

- установление природы первичных частиц, вызывающих аномальные события; определение основных характеристик их взаимодействия в атмосфере и их возможного влияния на формирование энергетического спектра ПКЛ;
- проверка реальности второго излома в энергетическом спектре ПКЛ при энергии > 100 ПэВ, определение его параметров и установление его природы;
- прямые измерения характеристик ядерных взаимодействий при энергиях до $E_0 \leq 10^{18}$ эВ, путем отбора событий ШАЛ с 1-взаимодействием над установкой, а также регистрации проскочивших протонов для определения неупругого сечения взаимодействия р-воздух;
- построение энергетического спектра диффузного γ -излучения в области энергий 30 - 2000 ТэВ с помощью методики регистрации бездронных и безмюонных ШАЛ и получение распределения координат их прихода на небесной сфере;

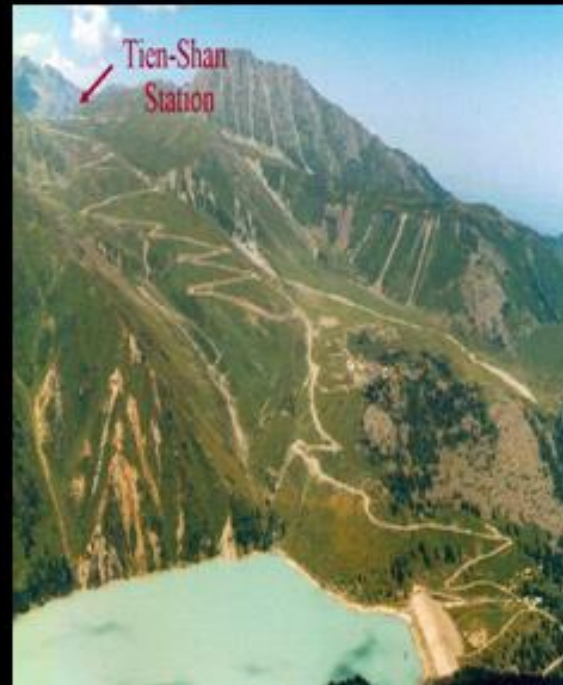
Дополнительные предложения к проекту “Памир-XXI”

- поиск “Кентавров” и странглетов в эксперименте с модернизированной (гибридной) 2-ярусной РЭК;
- 1-2-годовая совместная экспозиция РЭК площадью 1000 м² с ливневой установкой;
- регистрация первичного черенковского света ПКЛ;
- регистрация нейтронной компоненты ШАП с использованием NaCl в качестве замедлителя;
- . . .



Тянь-Шанская высокогорная станция

- ВЫСОТА НАД УРОВНЕМ МОРЯ – 3340 м.
- ГЛУБИНА АТМОСФЕРЫ – 690 г/см²
- РАСПОЛОЖЕНА В 43 км ОТ г. АЛМАТЫ



РЭК с воздушным зазором в составе модернизированного комплекса
АДРОН-М на ТШВНС



Верхняя РЭК



Нижняя РЭК

Установка Гроза

- Грозовые облака проходят на высоте станции, так что детекторы измерительных установок оказываются непосредственно внутри грозового облака.
- Пункты регистрации излучений размещены на различных высотах (в пределах 3,4 – 4 км над уровнем моря). Это позволяет получать профили распределения излучений внутри облаков не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскостях.



Комплексное изучение грозового разряда

- Одновременная регистрация гамма-излучения, электронов, нейтронов, радиоизлучения, ШАЛ.
- Общая длительность регистрации события составляет 2 сек с разрешением 200 мкс.



Пробой на убегающих электронах

- Пробой на убегающих электронах связан с генерацией вторичных электронов ионизации, которые непрерывно ускоряются полем и по смыслу называются убегающими. Хотя основная масса вторичных электронов имеет малые энергии, могут рождаться и электроны с достаточно большой энергией, превышающей критическое значение. Такие электроны становятся убегающими, ускоряются полем и, в свою очередь, при ионизации среды генерируют частицы с энергией выше критической. В результате появляется экспоненциально нарастающая лавина убегающих электронов с энергиями выше МэВ.
- Быстрые затравочные электроны эффективно генерируются космическими лучами. Поэтому в грозových облаках при достижении электрическим полем критического значения пробой на убегающих электронах вполне возможен.

ДЕТЕКТОРНЫЙ КОМПЛЕКС <<ГРОЗА>>



- Установка для регистрации широких атмосферных ливней
- Система сцинтилляционных детекторов гамма-излучения
- Многослойные спектрометры для регистрации быстрых электронов
- Нейтронные детекторы
- Радио- регистрирующий комплекс
- Датчики электрического поля



Комплексное изучение грозового разряда

Physics Letters A 373 (2009) 3550–3553

Contents lists available at ScienceDirect

 **Physics Letters A** 



www.elsevier.com/locate/pla

An intracloud discharge caused by extensive atmospheric shower

A.V. Gurevich^{a,*}, G.G. Mitko^a, V.P. Antonova^d, A.P. Chubenko^a, A.N. Karashtin^b, S.V. Kryukov^d,
A.S. Naumov^a, L.V. Pavljuchenko^a, M.O. Ptitsyn^a, V.A. Ryabov^a, S.Ya. Shalamova^a, A.L. Shepetov^a,
Yu.V. Shlyugaev^b, L.I. Vildanova^c, K.P. Zybin^a

Physics Letters A 373 (2009) 2953–2958

Contents lists available at ScienceDirect

 **Physics Letters A** 

www.elsevier.com/locate/pla

Energy spectrum of lightning gamma emission

A.P. Chubenko^{a,*}, A.N. Karashtin^b, V.A. Ryabov^{a,*}, A.L. Shepetov^a, V.P. Antonova^d, S.V. Kryukov^d,
G.G. Mitko^a, A.S. Naumov^a, L.V. Pavljuchenko^a, M.O. Ptitsyn^{a,*}, S.Ya. Shalamova^a, Yu.V. Shlyugaev^b,
L.I. Vildanova^c, K.P. Zybin^a, A.V. Gurevich^{a,*}

Комплексное изучение грозового разряда

Physics Letters A 375 (2011) 1619–1625



Contents lists available at ScienceDirect

Physics Letters A

www.elsevier.com/locate/pla



Gamma-ray emission from thunderstorm discharges

A.V. Gurevich^{a,*}, A.P. Chubenko^a, A.N. Karashtin^b, G.G. Mitko^a, A.S. Naumov^a, M.O. Ptitsyn^a,
V.A. Ryabov^a, A.L. Shepetov^a, Yu.V. Shlyugaev^b, L.I. Vildanova^c, K.P. Zybin^a

Physics Letters A 375 (2011) 4003–4006



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Physics Letters A

www.elsevier.com/locate/pla



The effective growth of gamma-ray background during a thunderstorm

A.V. Gurevich^{a,*}, A.P. Chubenko^a, A.N. Karashtin^b, V.P. Antonova^c, G.G. Mitko^a, A.S. Naumov^a,
M.O. Ptitsyn^a, V.A. Ryabov^a, A.L. Shepetov^a, Yu.V. Shlyugaev^b, L.I. Vildanova^c, K.P. Zybin^a

Комплексное изучение грозового разряда

PRL 108, 125001 (2012)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

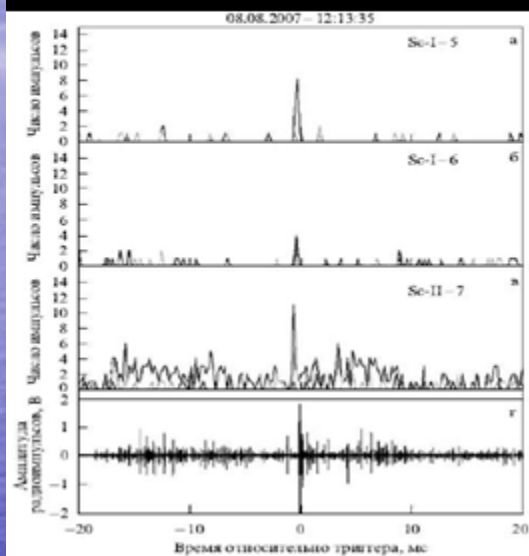
week ending
23 MARCH 2012

Strong Flux of Low-Energy Neutrons Produced by Thunderstorms

A. V. Gurevich,^{1,*} V. P. Antonova,² A. P. Chubenko,¹ A. N. Karashtin,³ G. G. Mitko,¹ M. O. Pitsyn,¹ V. A. Ryabov,¹
A. L. Shepetov,¹ Yu. V. Shlyugaev,⁴ L. I. Vildanova,⁵ and K. P. Zybin¹



Межоблачный разряд (ПУЭ – ШАЛ)



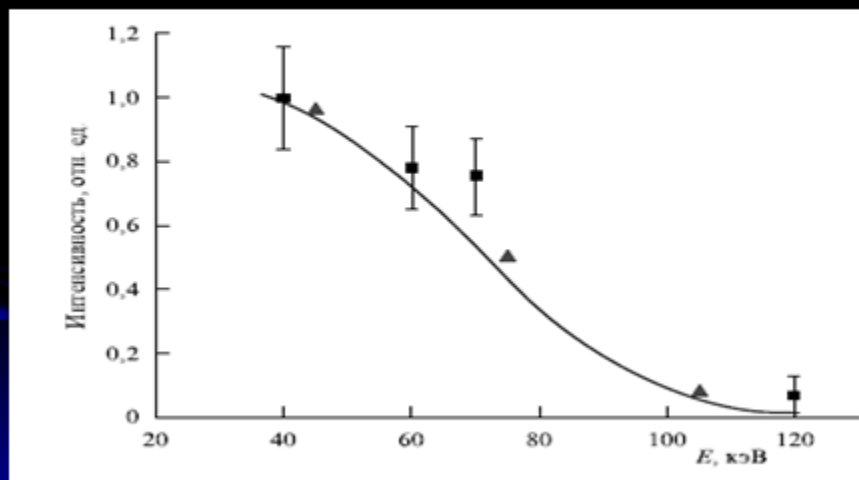
Триггер ШАЛ

Активная фаза грозы

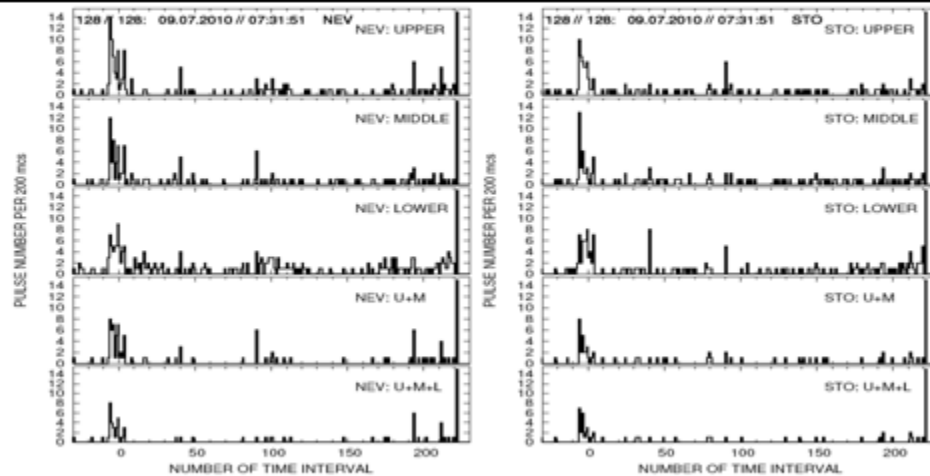
а-в – γ излучение

г – радиоизлучение

Энергетический спектр гамма-квантов



Вспышки быстрых электронов

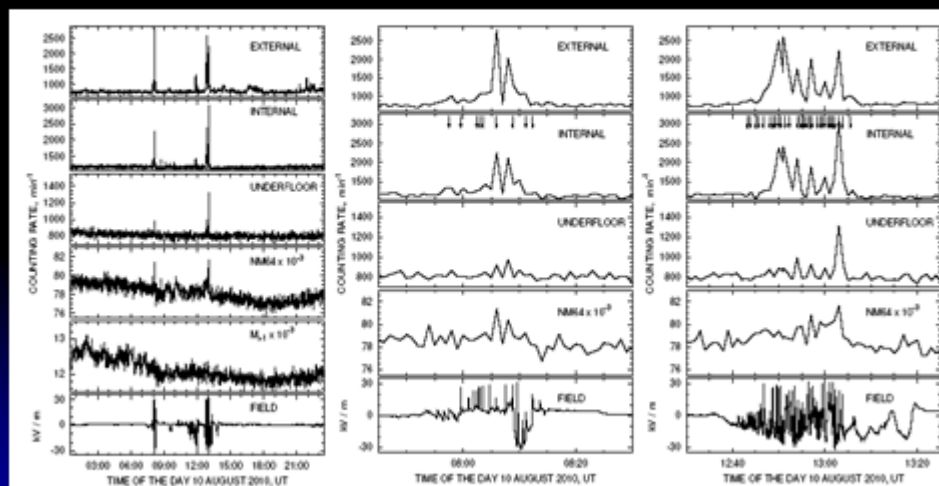


Сигналы регистрации заряженных частиц в многослойных спектрометрах

Межоблачный разряд (ПУЭ – ШАЛ)

- Наблюдались очень сильные импульсы гамма излучения, которые видны одновременно с триггером ШАЛ во всех наблюдательных пунктах.
- Это означает, что прохождение ШАЛ через грозовое облако сопровождалось сильным электрическим разрядом.
- Это явление впервые зарегистрировано в эксперименте.

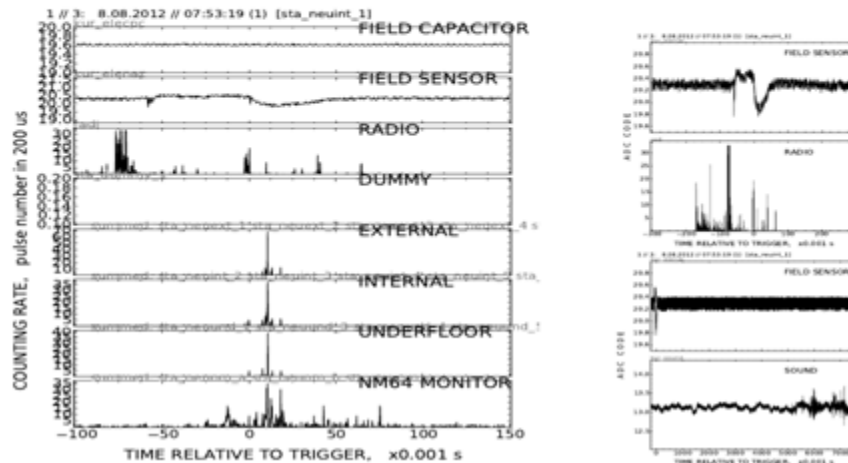
Возрастание интенсивности тепловых нейтронов



Корреляции вспышек нейтронов с атмосферными разрядами

Возрастание интенсивности нейтронов

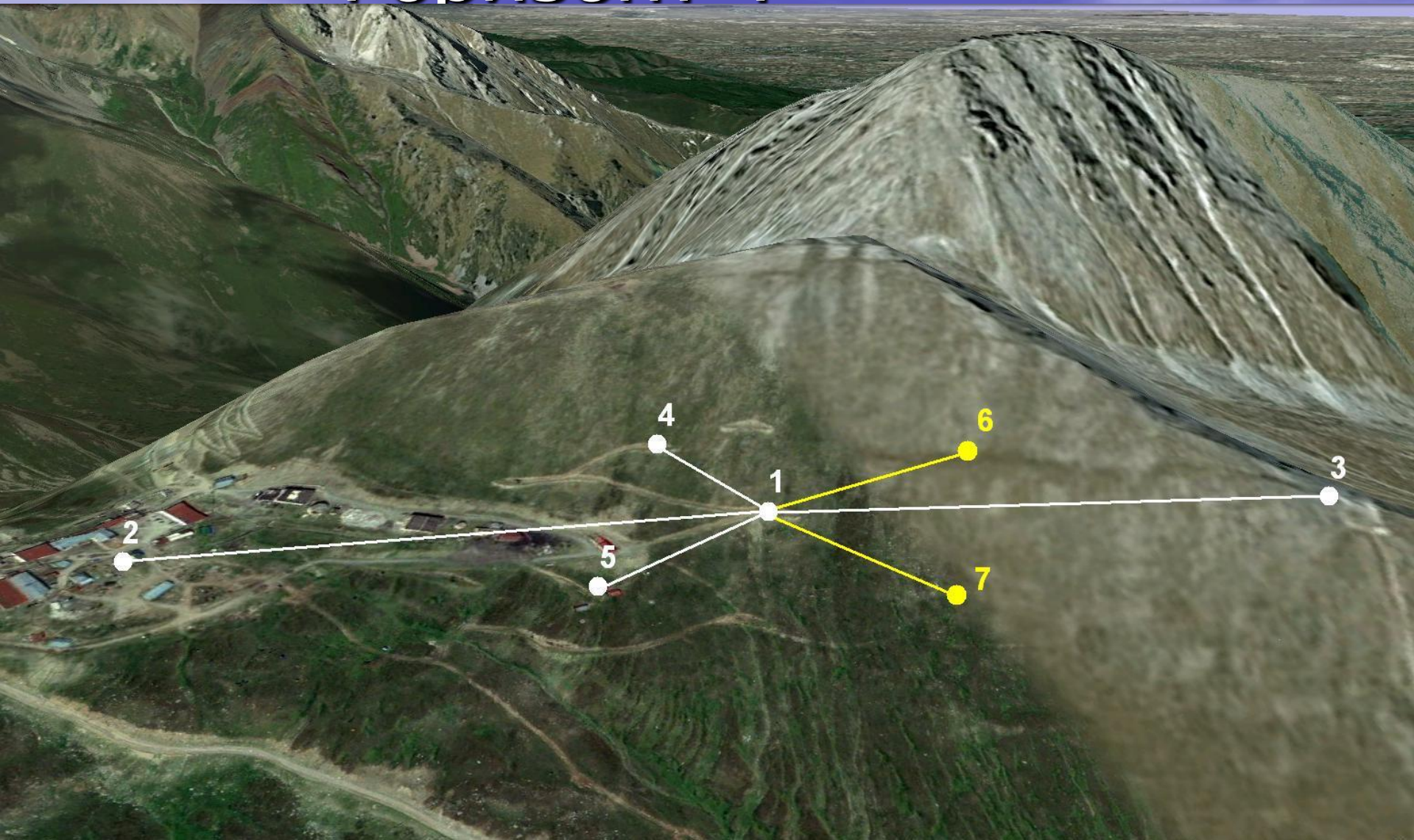
8 AUGUST 2012 // 07:53:19



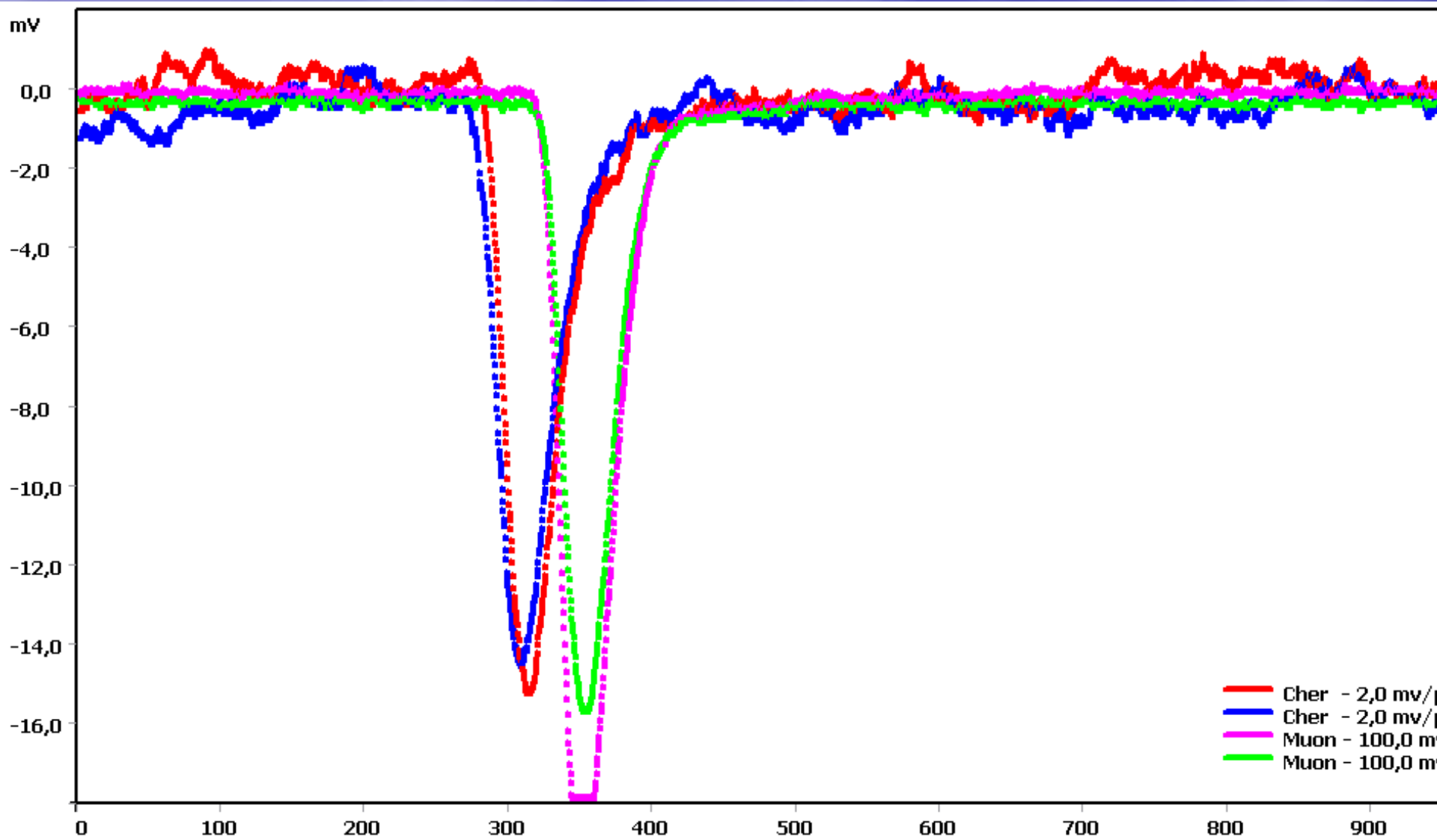
Комплексное изучение грозового разряда

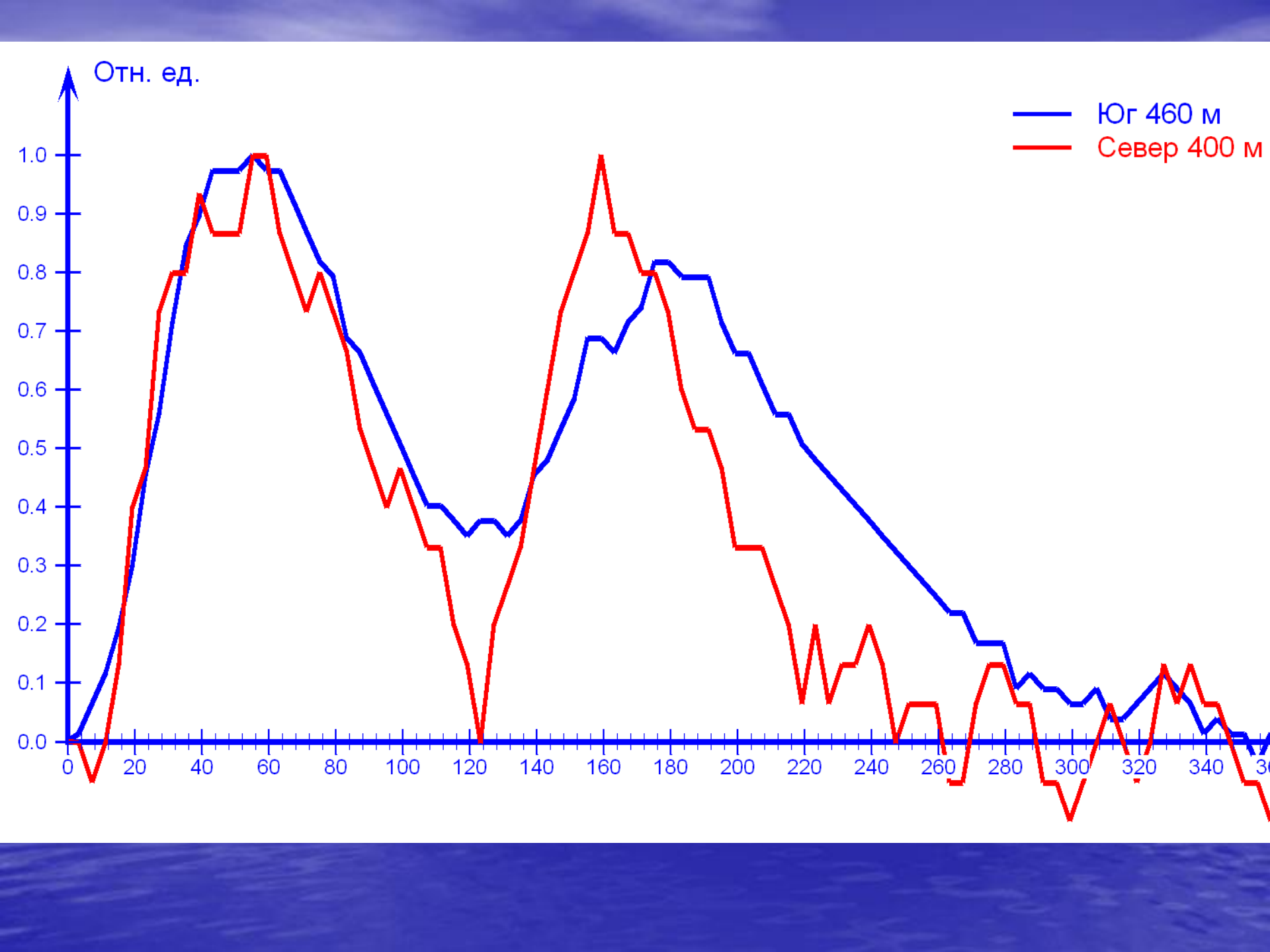
- Впервые вспышки гамма-излучения прямо отождествлены с атмосферными разрядами (молниями). Вспышки чрезвычайно интенсивны и сопровождают все атмосферные разряды.
- В активный грозовой период наблюдается большое количество электронов с энергиями вплоть до 10 МэВ и выше.
- В период активной фазы грозы было зарегистрировано значительное возрастание интенсивности тепловых нейтронов.

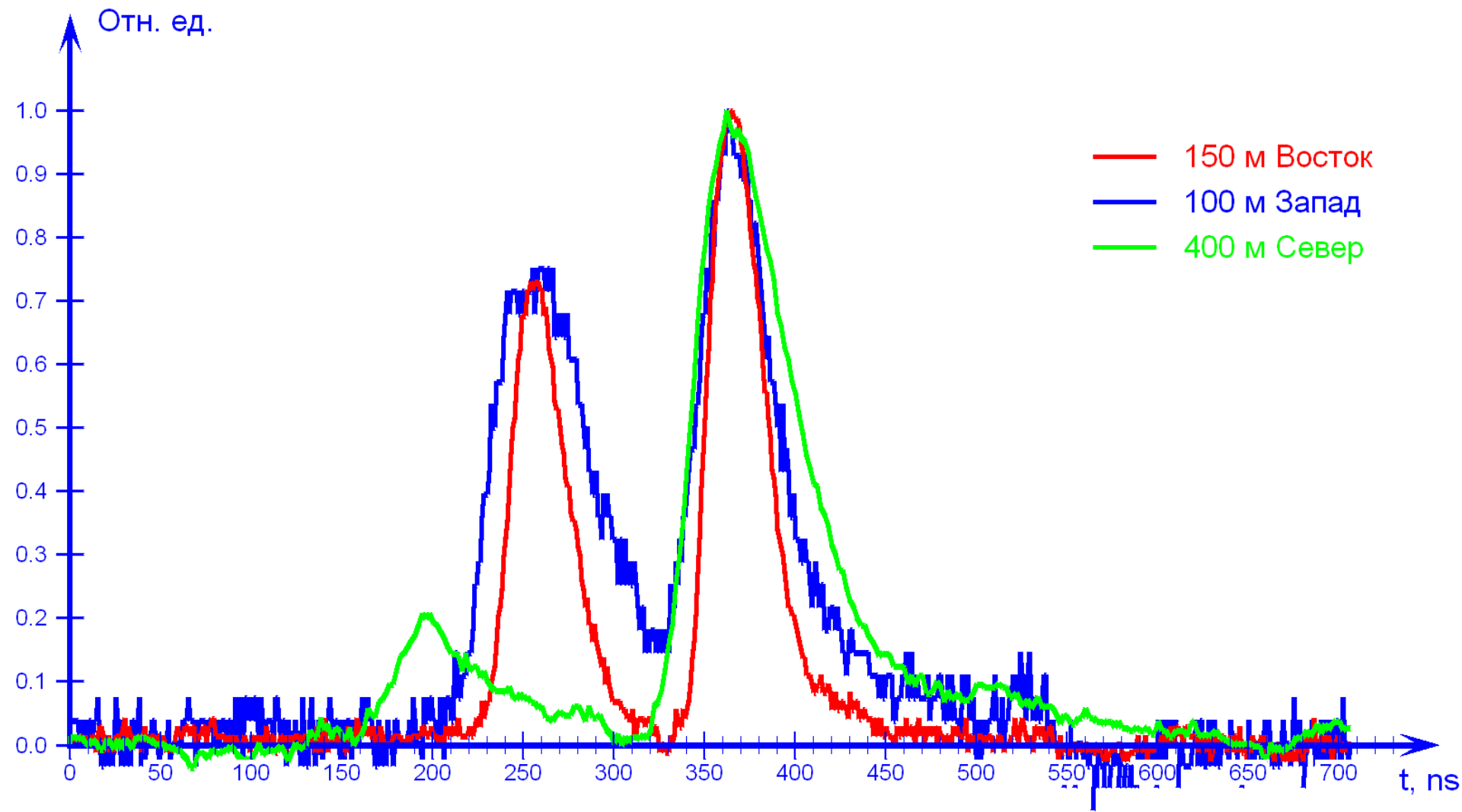
«Горизонт-Т»











С 2005 г. исследования галактических космических лучей проводятся в ФИАНе.

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК, 2005, том 402, № 4, с. 472–474

ФИЗИКА

УДК 539.143.5:523.161

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКА СЛЕДОВ ТЯЖЕЛЫХ И СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЯДЕР В ОЛИВИНАХ ИЗ МЕТЕОРИТОВ

© 2005 г. Академик В. Л. Гинзбург, Н. Г. Полухина, Н. И. Старков, академик Е. Л. Фейнберг, В. А. Царев

Поступило 01.02.2005 г.

Рассматриваются ядерно-физические и астрофизические аспекты исследований по поиску тяжелых и сверхтяжелых ядер в космических лучах. Обсуждается возможность поиска следов этих ядер в оливинах из метеоритов с использованием современной полностью автоматизированной системы ПАВИКОМ (полностью автоматизированный измерительный комплекс) для просмотра и обработки данных по трекам частиц.

ния “островов стабильности” и для еще более тяжелых ядер.

Несомненный интерес представляет также проверка возможности существования других стабильных форм ядерной материи, содержащих, например, странные [4] или другие, более тяжелые кварки [5].

2. Измерение потоков и спектров тяжелых и сверхтяжелых ядер в космических лучах является

Stable 'Mountains'
Lead - Uranium

SEA OF INSTABILITY

Spontaneous Fission

Island of Stability
- superheavy spherical nuclei

Increasing Stability ↑



100

130

Neutron Number, N

160

190

Deformed Nuclei

70

80

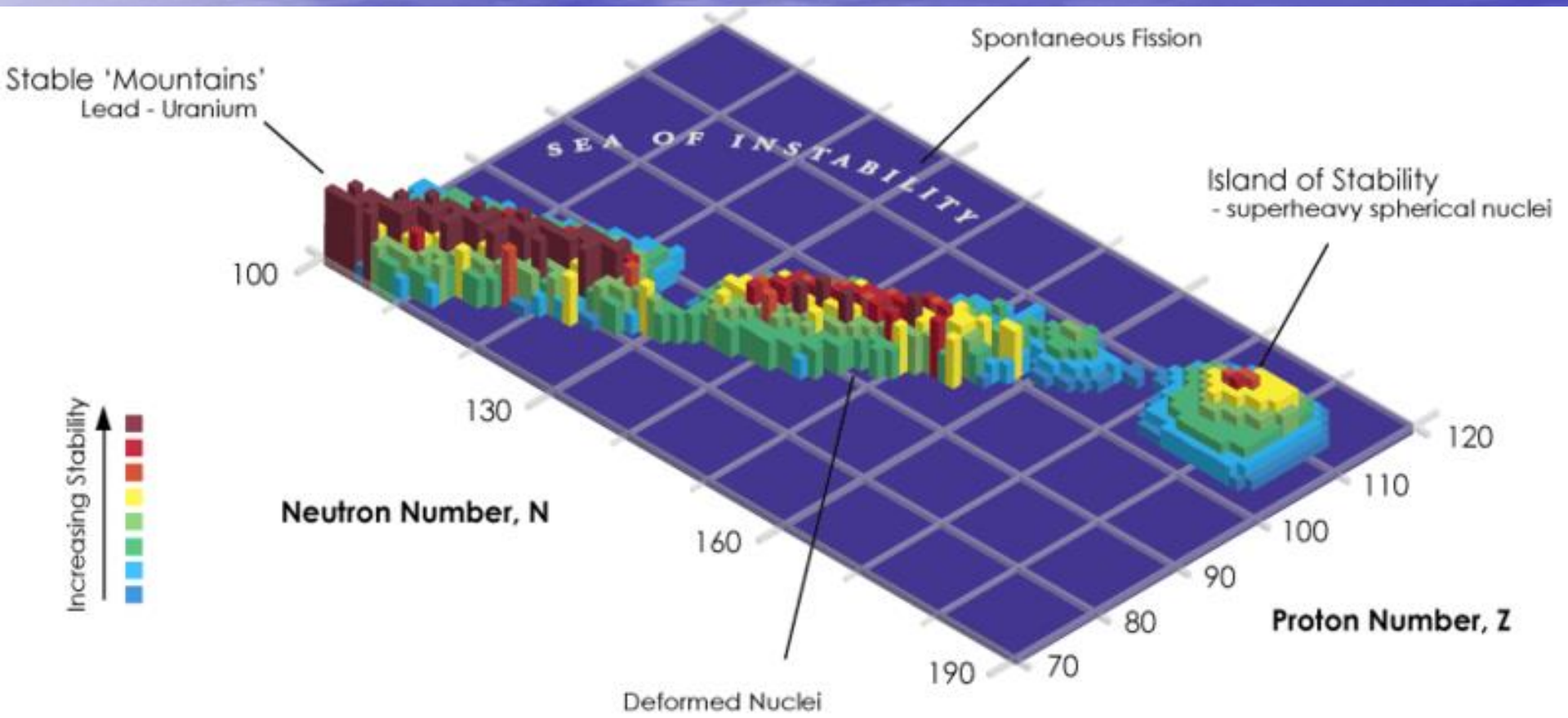
90

Proton Number, Z

100

110

120



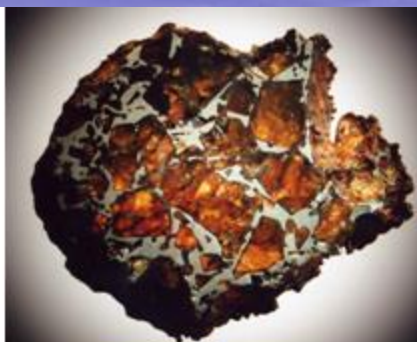
«ОЛИМПИА»

(«ОЛИвины из Метеоритов – Поиск тяжелых и сверхтяжелых Ядер»)

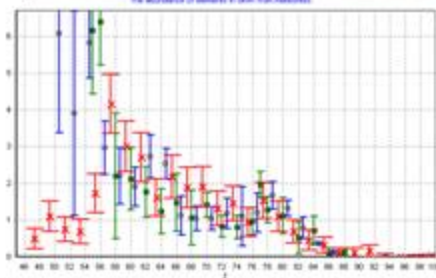
1. Marjalahty (Финляндия, 1902 г.).
Размер ~ 30 см.
Вес ~ 45 кг.
Возраст ~ 185 млн лет



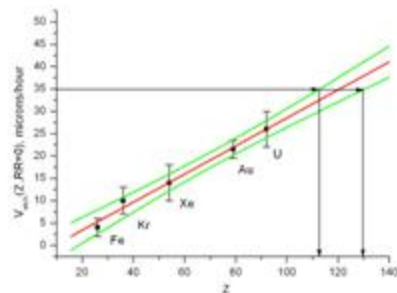
2. Игл Стейшн
(США 1880 г.).
Размер ~ 25 см.
Вес ~ 38 кг
Возраст ~ 300
млн лет



The abundance of elements in chondritic meteorites



Распространённость сверхтяжёлых элементов A ($A_{Fe}=10\%$). Квадраты - НЕАО, кружки - Ariel, кресты - проект ОЛИМПИА.



Регрессионный анализ: на уровне достоверности 95% заряд треков, имеющих скорость травления вблизи точки останова 35 микрон в час, равен **$Q=119(+10,-6)$** .

На графике красная линия - описание экспериментальных точек прямой, зелёные линии - коридор ошибок на уровне достоверности 95%. Вертикальные линии выделяют возможный интервал заряда на уровне достоверности 95% при скорости травления вблизи точки останова 35 микрон в час.

ОЛИМПИА:

- 1. Получено зарядовое распределение около 6000 галактических ядер с зарядом больше 55.**
- 2. Обнаружены и идентифицированы 3 ядра, заряд которых мы оценили в интервале $105 < Z < 130$**

Для одного ядра оценка $Z=119(+10,-6)$

Оценка минимального времени жизни этих ядер – от 3000 до 25000 лет.

- 3. Таким образом, получено указание на существование в природе элементов «острова стабильности».**



Учреждение Российской
академии наук
Физический институт
им. П.И. Лебедева РАН



РОСКОСМОС



Регистрация космических лучей и нейтрино ультравысоких энергий

Эксперимент ЛОРД

(Лунный Орбитальный РадиоДетектор)

Проблемы регистрации КЛ и нейтрино ультравысоких энергий

- **Теоретически:** большое разнообразие источников
- **Экспериментально:** редкость событий

Поток КЛ при энергиях $E_{\text{кл}} > 10^{20}$ эВ
составляет 1/км²/столетие.

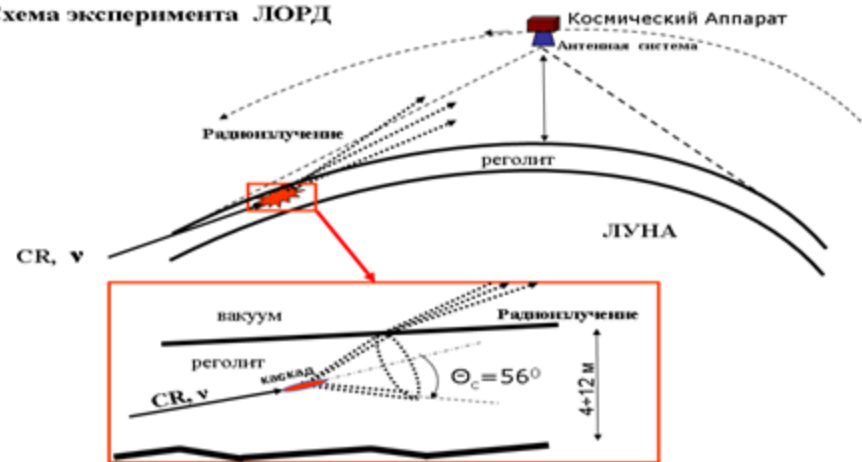
В нейтринных телескопах объемом 1 км³
ождается регистрация одного нейтрино раз в три
года.

Проблемы регистрации КЛ и нейтрино ультравысоких энергий

- Необходимы детекторы с огромными объемами и площадями.
- В последние годы для изучения КЛ строятся гигантские наземные детекторы, располагающиеся на площади в несколько тысяч км².
- Существуют проекты по регистрации ливней от частиц ультравысоких энергий в атмосфере Земли оптическими методами со спутников.
- Строятся нейтринные телескопы объемом 1 км³.
- **Для создания детекторов очень больших масштабов традиционные методы становятся неадекватными.**

Эксперимент ЛОРД

Схема эксперимента ЛОРД



Эксперимент ЛОРД – Лунный Орбитальный Радиодетектор

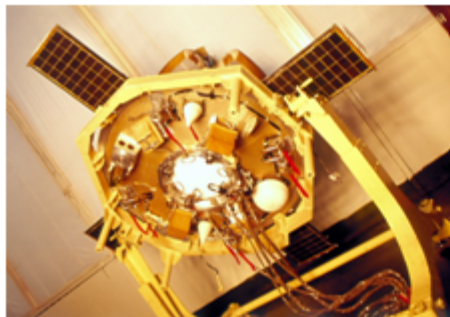


УНИФИЦИРОВАННАЯ ПЛАТФОРМА
ДЛЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ



ФГУП «НПО ИМ. С.А.ЛАВОЧКИНА»

УНИФИЦИРОВАННАЯ ПЛАТФОРМА



Конструкция платформы выполнена без гермоотсека. В состав бортовых систем унифицированной платформы входят все необходимые системы, обеспечивающие работу и контроль служебной и целевой аппаратуры платформы и МКА в целом:

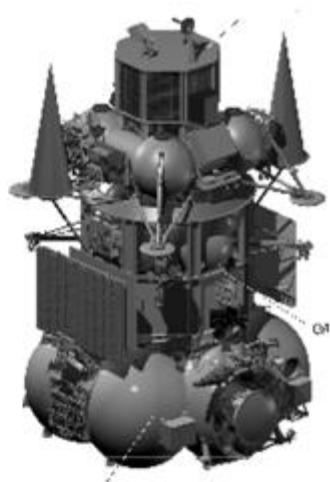
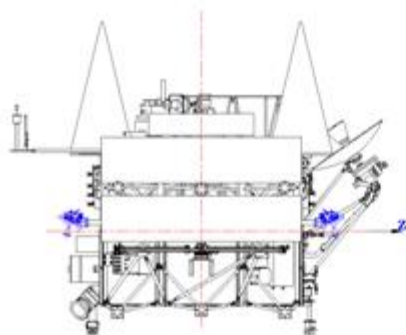
- энергоснабжение;
- радиосвязь;
- телеметрия;
- двигательная установка;
- управление движением и навигацией;
- терморегулирование.

Унифицированная платформа с размещенными на ней гидразиновой ДУ коррекции орбиты и термостабилизированной целевой панелью со служебной аппаратурой является конструктивной основой МКА.

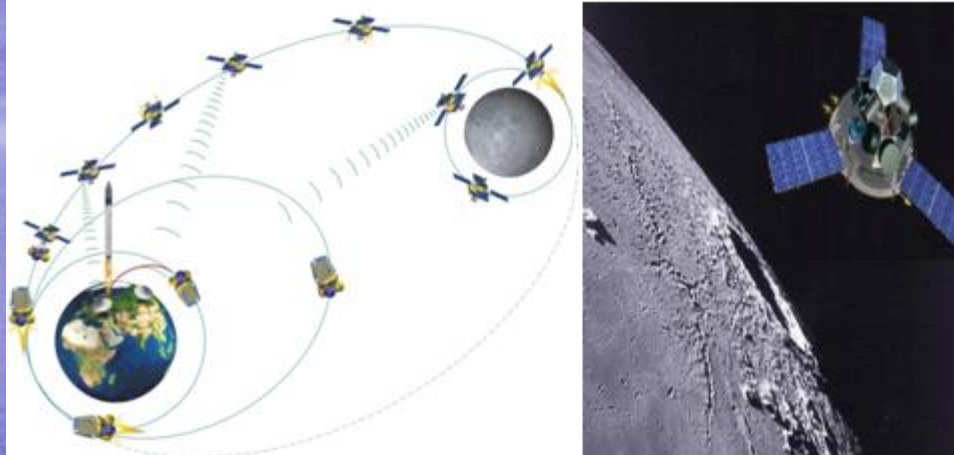
Конструкция платформы позволяет устанавливать различные виды панелей солнечных батарей.

Масса платформы 120 кг

Радиодетектор ЛОРД на борту космического аппарата



Выведение на орбиту Луны



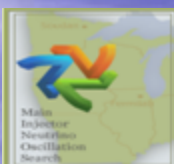
2016 год !



Эксперимент MINOS



ЭКСПЕРИМЕНТ MINOS



Эксперимент MINOS

Цели и задачи



- В 1995 г. возникло предложение о создании в подземной шахте **Soudan** нового детектора с полезной массой около 10 *кн*. Этот эксперимент получил название **MINOS (Main Injector Neutrino Oscillation Search)**.
- Эффект осцилляций регистрируется путем сравнения сигналов зарегистрированных в "ближнем" детекторе, расположенном на территории **FNAL** и "дальнем" – находящемся на расстоянии 730 *км* в подземной лаборатории **Соудан** на глубине 713 *м*.
- Сборка дальнего детектора **MINOS** была завершена в июне 2003 г., а ближнего – в октябре 2004 г.
- Впервые пучок **№MI** был выведен в декабре 2004 г.



NuMI
BEAMLINE MINOS
EXPERIMENT



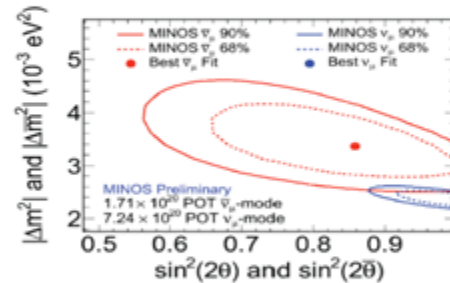
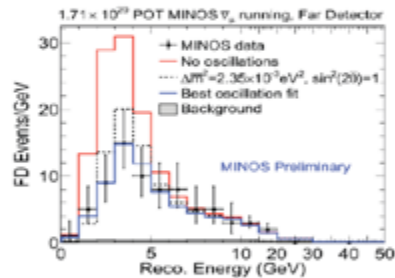


Эксперимент MINOS

Результаты наблюдения осцилляций
нейтрино от ускорителя

anti- ν_μ disappearance

Expected $N_{\text{exp}} = 156$; Observed $N_{\text{obs}} = 97$ (6.3σ excl. no oscillation)



“The probability that the underlying ν_μ and anti- ν_μ oscillation parameters are identical is 2.0%.”

ν -mode: $|\Delta m^2| = 2.32^{+0.12}_{-0.08} \times 10^{-3} \text{eV}^2$; $\sin^2(2\theta) > 0.90$ (90% C.L.)

anti- ν -mode: $|\Delta m^2| = (3.36^{+0.46}_{-0.40}(\text{stat.}) \pm 0.06(\text{syst.})) \times 10^{-3} \text{eV}^2$;
 $\sin^2(2\theta) = 0.86^{+0.11}_{-0.12}(\text{stat.}) \pm 0.01(\text{syst.})$

ArXiv:1104.0344 (2011)



Эксперимент MINOS

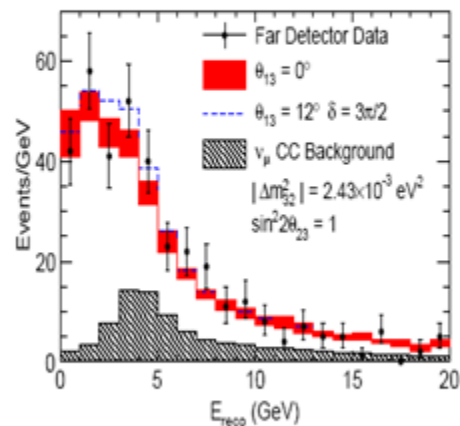
Search for sterile neutrino mixing in the MINOS long baseline experiment

Реконструирован энергетический спектр NC- взаимодействий.

Зарегистрировано 388 NC-событий.

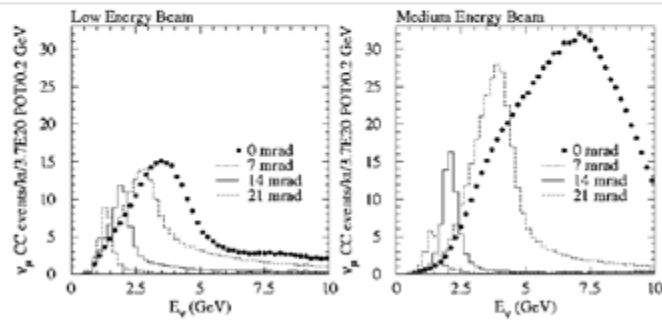
Ожидание в трехароматовой модели $377 \pm 19,4$ (стат) $\pm 18,5$ (сист).

Имеется полное согласие с гипотезой отсутствия осцилляций в стерильный аромат!



"Off-axis"- эксперимент NOvA (Numi Off-axis Appearance experiment)

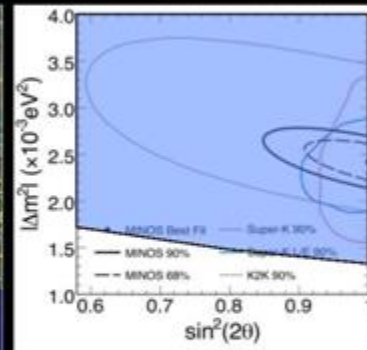
- Возможность создания моноэнергичных нейтринных пучков путем перемещения детектора с оси пучка на расстояния 5, 10 и 20 км (соответствующие углы 7, 14 и 21 мрад)



CNGS (Baseline 732 km, $\langle E \nu \rangle 17 \text{ GeV}$)

OPERA

$$P(\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau) \sim \sin^2(2\theta_{23}) \cdot \sin^2\left(1.27 \cdot \Delta m_{23}^2 \cdot \frac{L}{E}\right) \sim 1.7\%$$

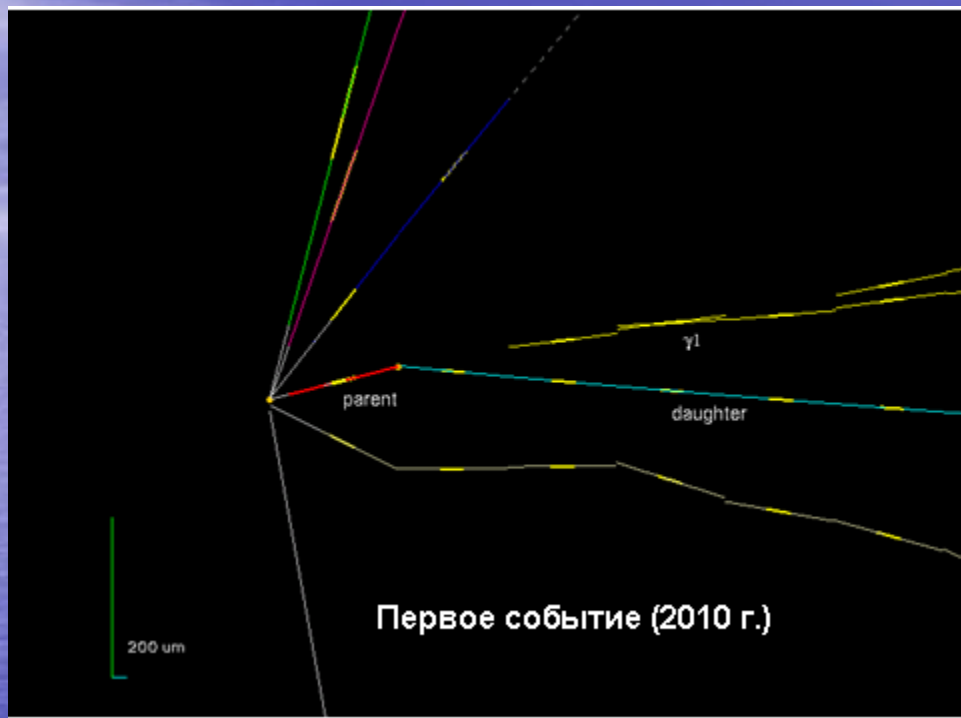


Covers the region indicated by Super-K, K2K & MINOS

For 22.5×10^{19} POT \rightarrow Expected Events 7.6 Signal, 0.8 Background
 Ref: New Journal of Physics 14(2012)033017

Status of the ν_τ Search

Years	Status	# of events for Decay search	Expected ν_τ (Preliminary)	Observed ν_τ Candidate Events	Expected BG for ν_τ (Preliminary)
2008-2009	Finished	2783		1	
2010-2011	In analysis	1343		1	
2012	Started				
Total		4126	2.1	2	0.2

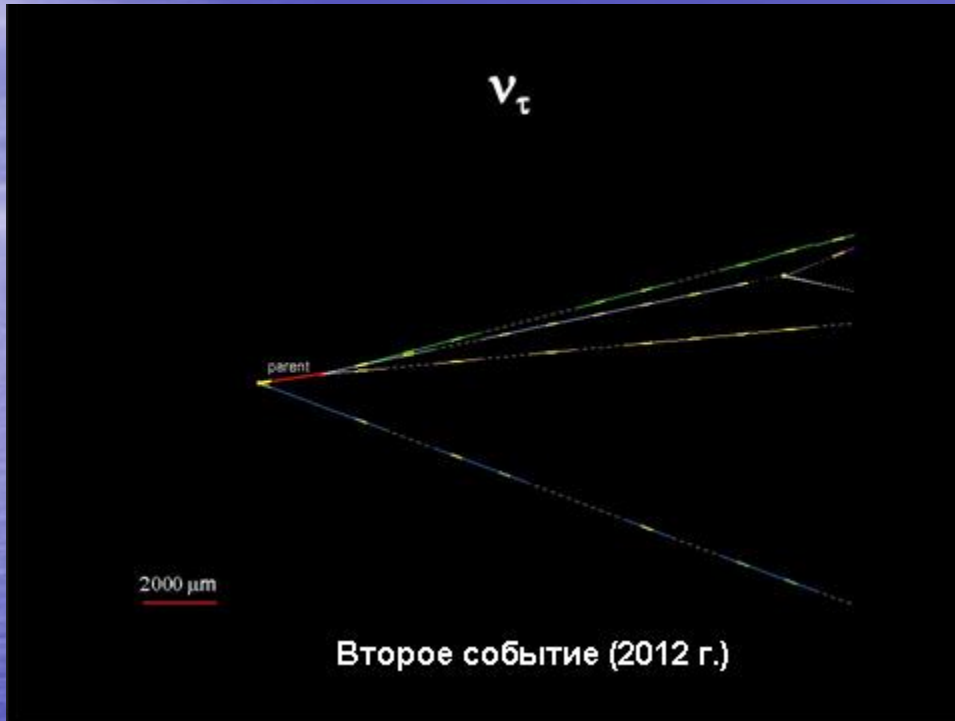


V_t

parent

2000 μm

Второе событие (2012 г.)

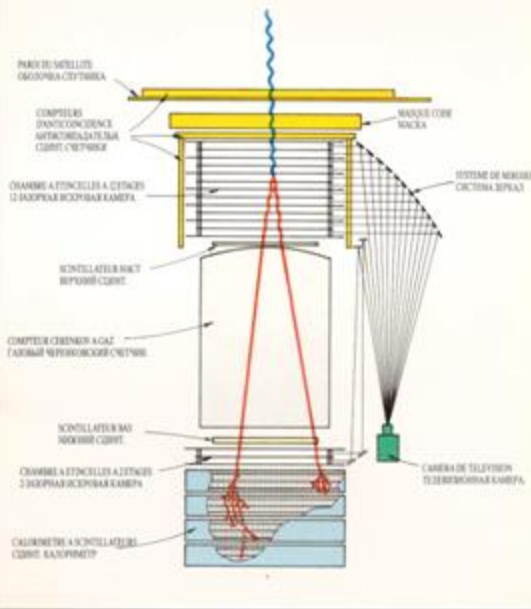




Созданная в ФИАНе система автоматизированной обработки данных эксперимента ОПЕРА на комплексе ПАВИКОМ позволила впервые в России начать массовую обработку взаимодействий нейтрино, зарегистрированных в эксперименте ОПЕРА. При этом разработанное в ФИАНе с учетом нужд сканирующих систем нового поколения программное обеспечение позволяет повысить в два раза скорость сканирования на европейских сканирующих станциях.



Гамма-телескоп ГАММА-1 (1990-1992 гг.)



Коллаборация: ИКИ, МИФИ, ФИАН, ФТИ им. А. Ф. Иоффе, ОКБ ИКИ, НПО «Энергия»

Диапазон энергий: 50 МэВ-5 ГэВ

Характеристики:

$S_{\text{эфф}} = 1400 \text{ см}^2$, $\Delta\theta = 1,2^\circ$ (300 МэВ),

$\Delta E/E = 34\%$ (550 МэВ),

Научные результаты:

зарегистрировано гамма-излучение от центра Галактики, многих галактических объектов (Geminga, Crab, Hercules-X1, Cygnus-X3, Vela). В 1991 г. в период максимума солнечной активности ГАММА-1 впервые зарегистрировал вспышки высокоэнергетического (до нескольких ГэВ) гамма-излучения от Солнца.

Проект «ГАММА-400»



Л.В. Куриксова (1918-2006)



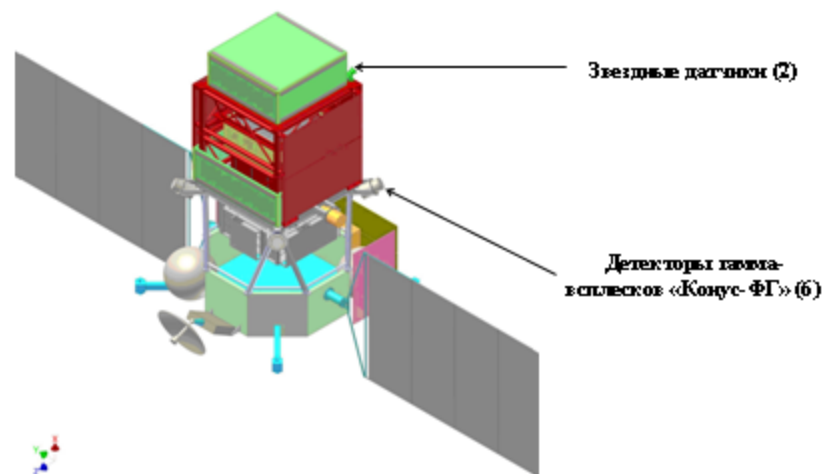
В.Л. Гинзбург (1916-2009)

Первые работы по ГАММА-400 опубликованы в 1987-1988 гг. (Proc. 20ICRC, Moscow, 1987; Space Sci. Rev., 1988, 49, 215). По предложению Л.В. Куриковой (ФИАН, ЛКЛ) и В.Л. Гинзбурга (ФИАН, ТО) в научные задачи ГАММА-400 включен поиск особенностей в энергетическом спектре гамма-квантов, связанный с частицами темной материи, в частности, попытки зарегистрировать гамма-линии, появляющиеся при аннигиляции нейтрально.

**Сравнительные характеристики работавших,
существующих и планируемых космических и наземных
гамма-телескопов**

	КОСМИЧЕСКИЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ					НАЗЕМНЫЕ ГАММА-ТЕЛЕСКОПЫ			
	EGRET	AGILE	Fermi-LAT	CALET	ГАММА-400	HES 5- II	MAGIC- II	VERITAS	CTA
	США	Италия	США	Япония	Россия	Италия	Испания, Франция	США, Аргентина	
Годы работы	1991-2000	2007-	2008-	2014	2018	2012-	2009-	2007-	2018
Диапазон энергий, ГэВ	0,03-30	0,03-30	0,02-300	10-10000	0,1- 3000	> 30	> 50	> 30	> 20
Эффективная площадь, м ²	0,2	0,1	0,8	0,1	0,4	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁴
Угловое разрешение (E > 100 ГэВ)	0,2 (E < 0,5 ГэВ)	0,1 (E < 1 ГэВ)	0,1	0,1	~0,01	0,07	0,07 (E < 300 ГэВ)	0,1	0,1 (E < 100 ГэВ) 0,03 (E < 10 ГэВ)
Энергетическое разрешение (E > 100 ГэВ)	15% (E < 0,5 ГэВ)	50% (E < 1 ГэВ)	10%	2%	~10%	15%	20% (E < 100 ГэВ) 15% (E < 1 ГэВ)	15%	20% (E < 100 ГэВ) 5% (E < 10 ГэВ)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СХЕМА РАЗМЕЩЕНИЯ
КНА «ГАММА-400» НА ПЛАТФОРМЕ «НАВИГАТОР»

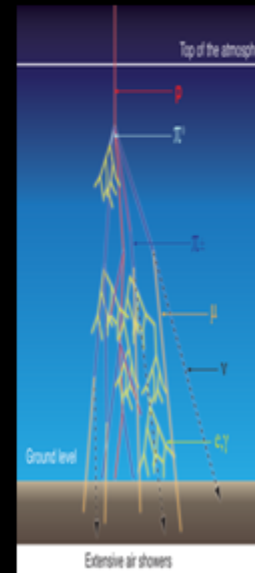


Разработку космического аппарата и платформы «Навигатор» осуществляет НПО им. С.А. Лавочкина.

Предполагаемая дата запуска космической обсерватории «ГАММА-400» – 2018 год

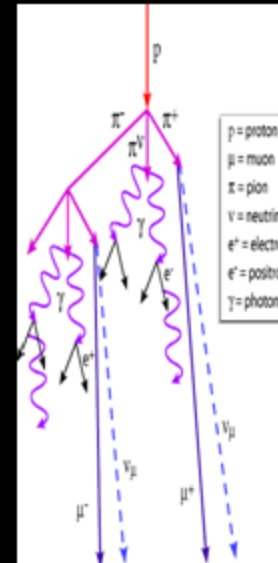
Метод регистрации глубокопроникающей компоненты космических лучей и высокочастотных сейсмических шумов

- Поиск предвестников землетрясений на установке, которая создана на Тянь-Шанской высокогорной научной станции ФИАН (ТШВНС), базируется на современной концепции «аномального акустического отклика» напряженной среды при воздействии на нее энергичных проникающих частиц. Эта концепция теоретически была разработана в ФИАН. Было впервые показано, что роль триггера высокочастотных сейсмических шумов должна играть мюонная компонента космических лучей.
- Был предложен способ мониторинга состояния сейсмически активной среды, основанный на одновременной регистрации мюонов широких атмосферных ливней и индуцированных ими высокочастотных сейсмических шумов.
- Как показали теоретические оценки для мюонов, эти частицы могут достигать больших глубин (до 20 км) Земли и взаимодействовать с очагами сейсмически активной среды, находящейся в метастабильном состоянии.
- Взаимодействие проникающих частиц высокой энергии с веществом сопровождается образованием ядерно-электромагнитного каскада и приводит к практически мгновенной диссипации энергии в объеме, занимаемом каскадом. При диссипации энергии в объеме, занимаемом каскадом, возникает тепловыделение, наибольшая объемная плотность тепловыделения достигается вблизи точки взаимодействия.

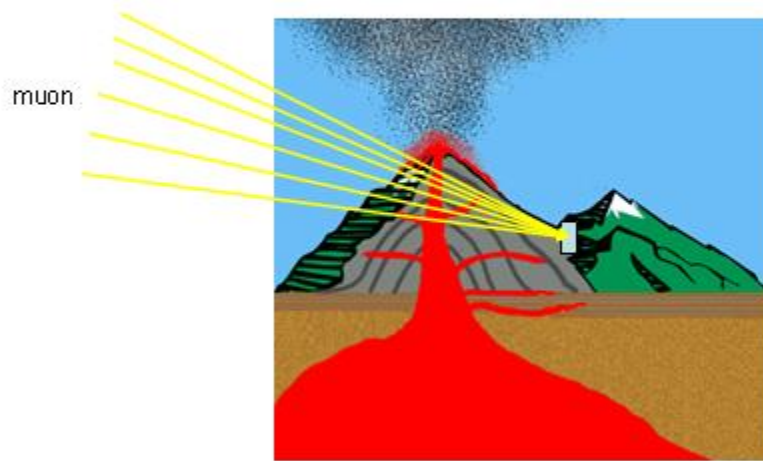


Метод регистрации глубокопроникающей компоненты космических лучей и высокочастотных сейсмических шумов

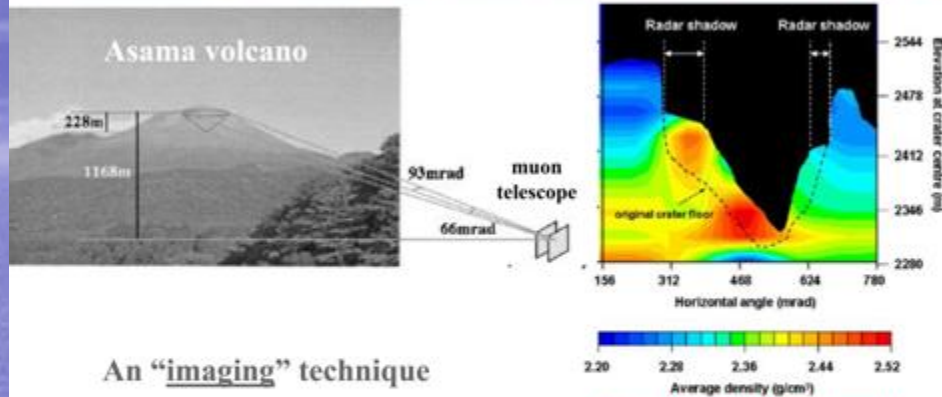
- Такое тепловыделение способно образовать в земной породе зародышевую микротрещину, которая в сейсмически активной среде начинает быстро расти. Это, в свою очередь, приводит к высвобождению упругой энергии, запасенной в напряженной среде, существенно большей, чем первоначальная энергия осюлка ядра.
- Высвобождение упругой энергии приводит к генерации акустических волн, которые могут быть зафиксированы акустическими датчиками, расположенными на поверхности Земли или на некоторой глубине. При этом интенсивность такой «инициированной космическими лучами» акустической эмиссии тем выше, чем более «сейсмически активна» среда, т.е., чем она ближе к критическому состоянию, при котором в ней начинают происходить катастрофические процессы разрушения.
- **Мониторинг подобной эмиссии может быть использован в качестве чувствительного индикатора готовности сейсмического очага к землетрясению!**



Principle



Pioneering radiographies in Japan since 2003



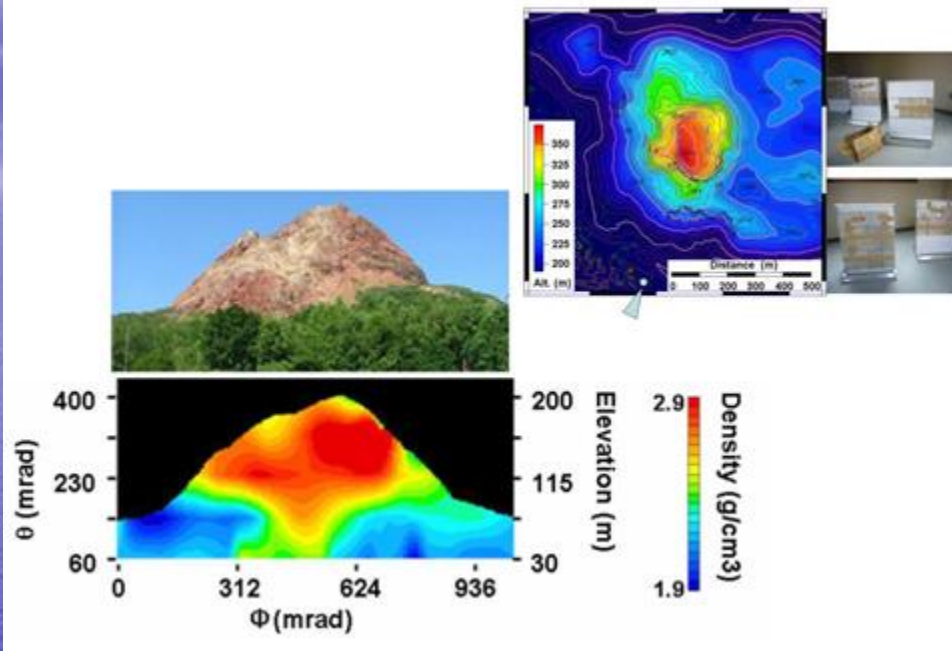
An “imaging” technique

Resolution (tens of meters)
unattainable with conventional
“indirect” techniques
(gravimetric, seismic, ...)

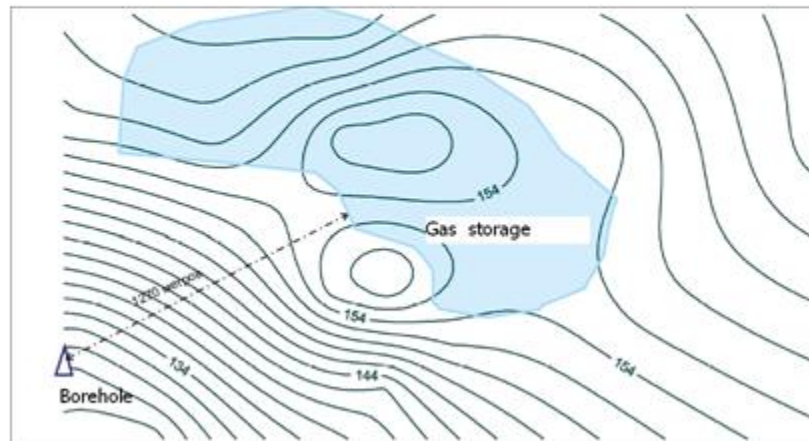
**A region of higher density
(red) visible in the caldera**
**Below it, one sees (blue) a
region with lower density**

H.T.M. Tanaka and coll.
EPS Lett. 263 (2007) 104

Density analysis of Mt. Showa-Shinzan



Disposition of the gas storage and isolines of local topography



Disposition of the borehole and the gas storage in the site of expected method testing



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ