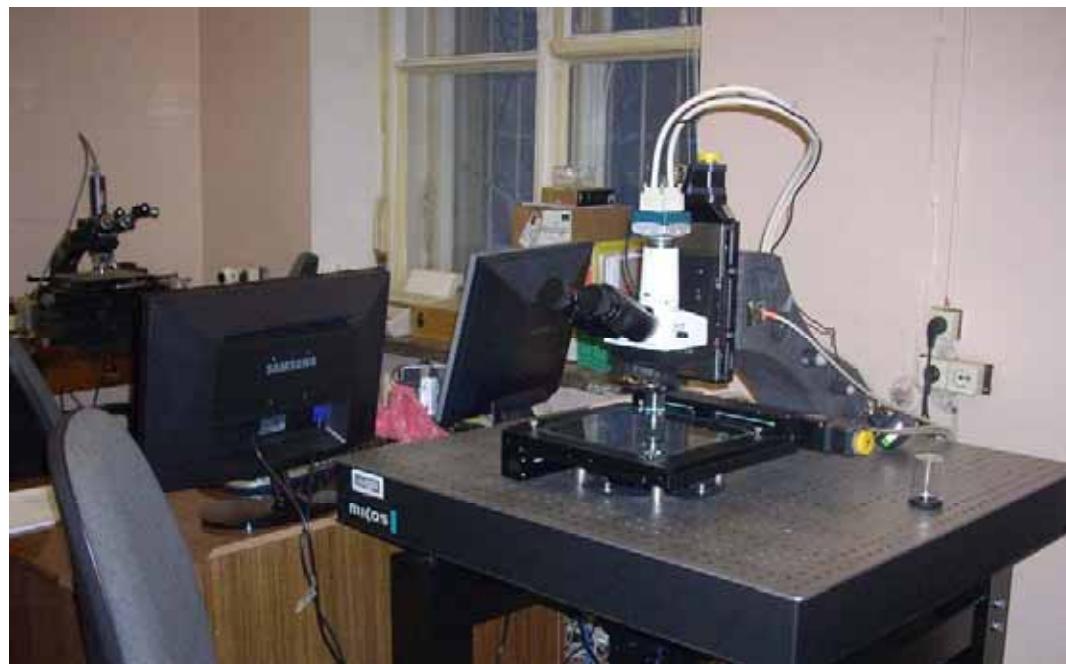




Исследования с использованием трековых детекторов в ФИАНе: современный статус и перспективы



Трековые детекторы: области применения в научных исследованиях и автоматизированная обработка данных.

Пузырьковые и искровые камеры, ядерные эмульсии, травимые твердотельные трековые детекторы - широко применяются в ядерной физике и физике элементарных частиц.

Достоинства методики: наглядность результатов эксперимента; относительная простота и дешевизна; способность накапливать информацию в течение длительного времени; высокое пространственное разрешение.

Тип детектора	Название	Пространственное разрешение, см	Временное разрешение, с	Время восстановления, с
Трековые детекторы	Ядерная фотоэмulsionия	$10^{**(-4)}$	-	-
	Камера Вильсона	$10^{**(-1)}$	$10^{**(-1)}$	$10^{**(-2)}$
	Диффузионная камера	$10^{**(-1)}$	$10^{**(-1)}$	$10^{**(-2)}$
	Пузырьковая камера	$10^{**(-2)}$	$10^{**(-3)}$	1
	Искровая камера	$10^{**(-2)}$	$10^{**(-6)}$	$10^{**(-3)}$
Электронные детекторы	Сцинтилляционный счетчик	1	$10^{**(-9)}$	$10^{**(-8)}$
	Полупроводниковый детектор	1	$10^{**(-9)}$	$10^{**(-9)}$
	Пропорциональная камера	$10^{**(-2)}$	$10^{**(-7)}$	$10^{**(-6)}$

Области применения: физика высоких энергий, физика космических лучей, реакторная физика, металлургия, геология, археология, медицина, биология, исследования метеоритов и образцов лунных пород.

-возможность регистрации продуктов радиоактивных распадов в эмульсии была впервые обнаружена А. Беккерелем в 1896 году;

-использовали для изучения первичного космического излучения ;

-были определены многие свойства странных частиц – масса, время жизни, спин, четность;

-изучали резонансные состояния частиц и исследовались слабые взаимодействия;

-получали данные об энергетическом спектре нейтронов от реактора;

-получают информацию о распространении важнейших с радиологической точки зрения α -излучающих природных ядер инертных газов ^{222}Rn и ^{230}Rn ;

-проводят контроль времени облучения радоном шахтеров на урановых рудниках;

-изучают события с высокими линейными потерями энергии в пучках отрицательных пионов в радиотерапии;

-широко используют ядерную эмульсию в экспериментах по физике частиц.

Простота твердотельных трековых детекторов (ТТД) - их существенное **преимущество**.

Вместе с тем **важнейшее значение** имеют также **средства, которые должны быть использованы для извлечения информации из ТТД.**

Поэтому одновременно с развитием методики трековых детекторов, **развивались также методы автоматизации измерений** (проекционные микроскопы с ручным или автоматическим слежением за проекцией выбранного трека; спиральный измеритель; сканирующий и измерительный проектор; приборы с прямоугольным растром считывания как на основе катодно-лучевой трубки, так и с механической разверткой; использовался искровой счет; устройство детектирования количества треков в пластике на основе явления пробоя и др.)

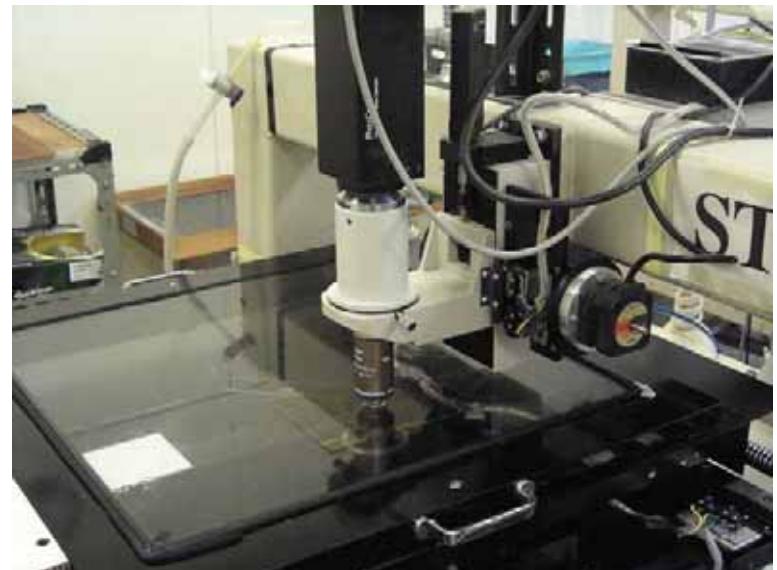
В полуавтоматических системах перемещение столов проводится автоматически, тогда как задание особенностей и указание меток для измерения изображений производится оператором (Videoplan, SAMAICA (Германия), VIDS (Англия), VPA 1000 (Япония)).

Возникновение приборов с зарядовой связью, в которых CCD-камеры используются для регистрации и оцифровки оптических изображений, привело к созданию микропроцессорно-ориентированных систем для автоматической обработки треков частиц в детекторах.



*Три автоматизированных микроскопа
для обработки ядерных эмульсий в
лаборатории Гран-Сассо
Национального Института Ядерных
Исследований Италии.*

Сканирующие автоматизированные микроскопы в университете Нагоя, Япония.



ПАВИКОМ-1



- **Прецизионный стол MICOS**

Перемещение по осям:
 $X = 800 \text{ мм}$, $Y = 400 \text{ мм}$,
 $Z = 200 \text{ мм}$

Точность измерения
координат: 0.5 мкм

- **VS-СТТ CCD-видеокамера**

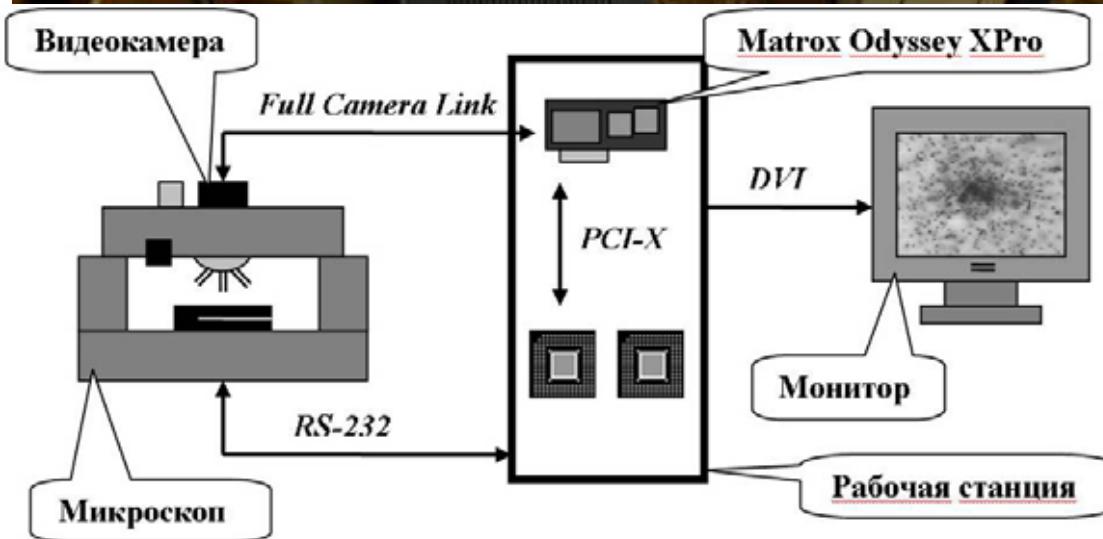
Глубина цвета до 10 бит

Размер изображения:
 1360×1024 пикселей

Частота: до 30 кадр/с

- **Рабочая станция**

ПАВИКОМ-2



- Микроскоп ЛОМО МПЭ-11

- Прецизионный стол Carl Zeiss

Перемещение по осям:

X = 120 мм, Y = 100 мм,

Z = 10 мм

Точность измерения координат:
0.25 мкм

- СМОС-видеокамера Mikrotron MC-1310

Глубина цвета до 10 бит

Размер изображения:

1280 x 1024 пиксель

До 500 кадров в секунду

- Рабочая станция

Плата оцифровки и обработки изображений Matrox Odyssey XPro

ПАВИКОМ-3



- **Оптическая система NICON**
- **Прецизионный стол MICOS**

Перемещение по осям:
 $X = 120 \text{ мм}$, $Y = 120 \text{ мм}$,
 $Z = 30 \text{ мм}$

Точность измерения координат:
 0.5 мкм
- **CMOS-видеокамера Mikrotron MC-1310**

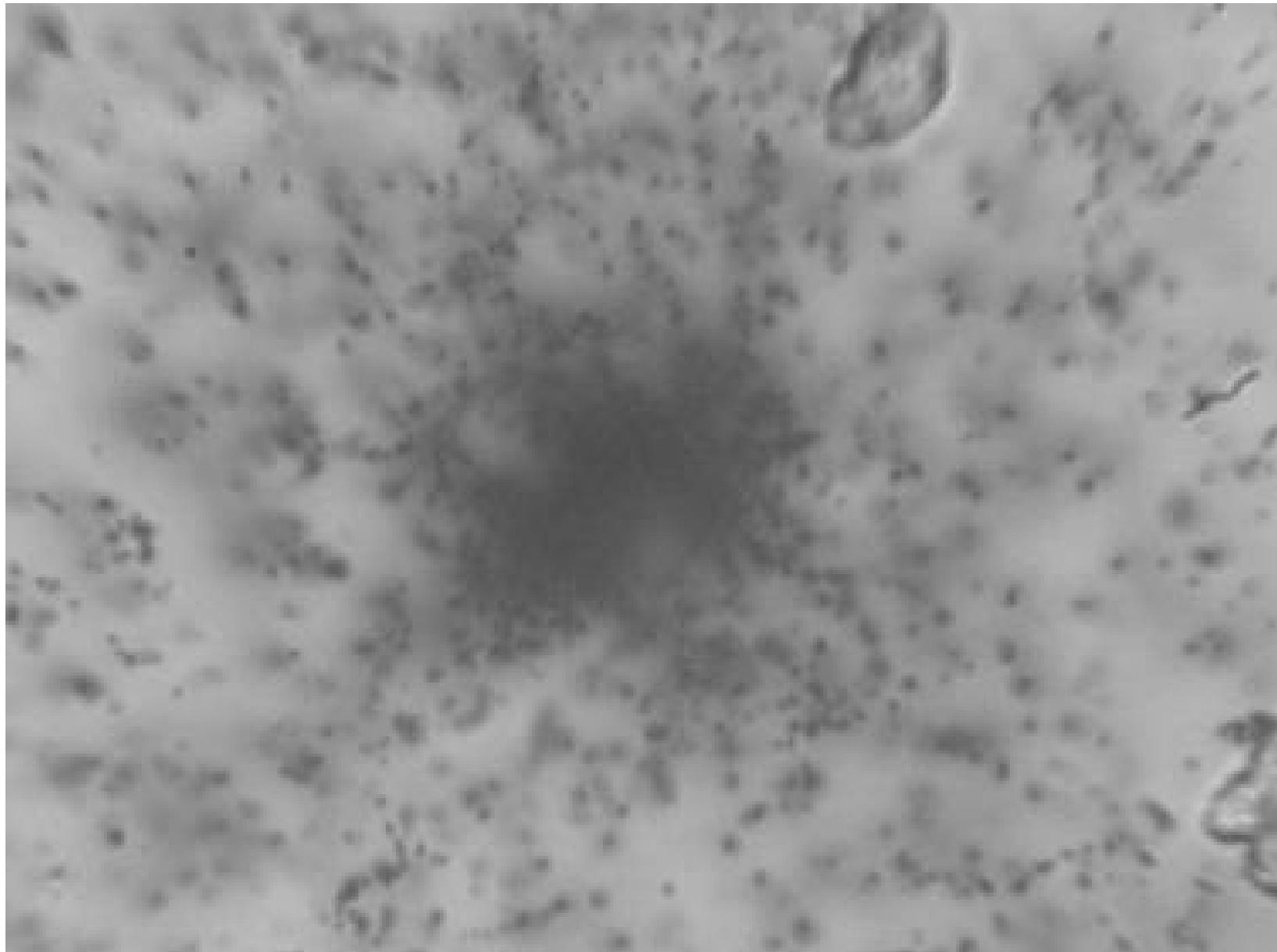
Глубина цвета до 10 бит

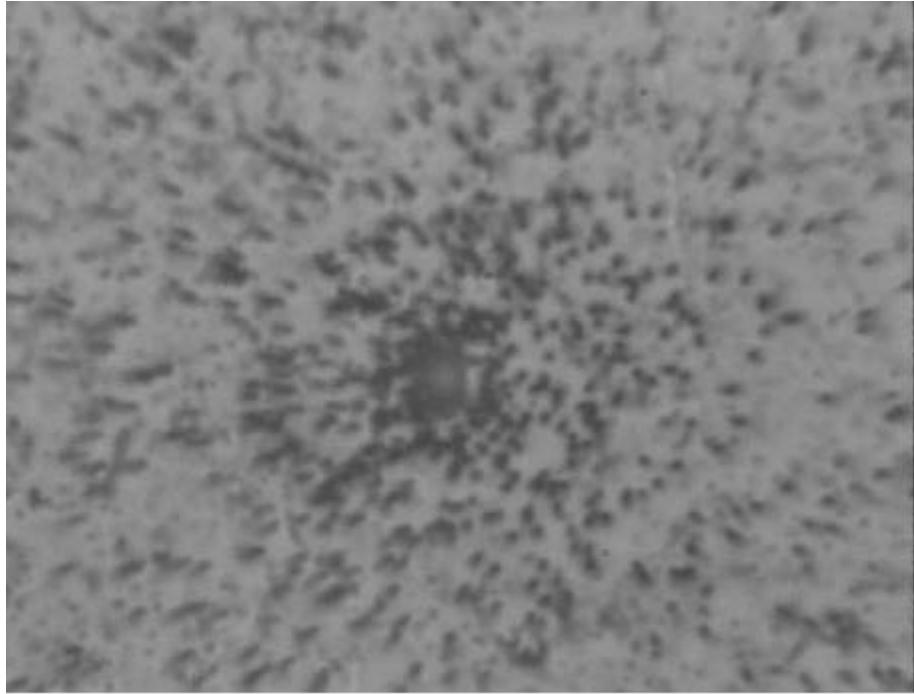
Размер изображения:
1280 x 1024 пикселей

До 500 кадров в секунду
- **Рабочая станция**

Плата оцифровки и обработки изображений Matrox Odyssey XPro

Поиск возможных сигналов образования суб-адронных состояний ядерной материи при высоких температурах и плотностях по данным эксперимента EMU-15.





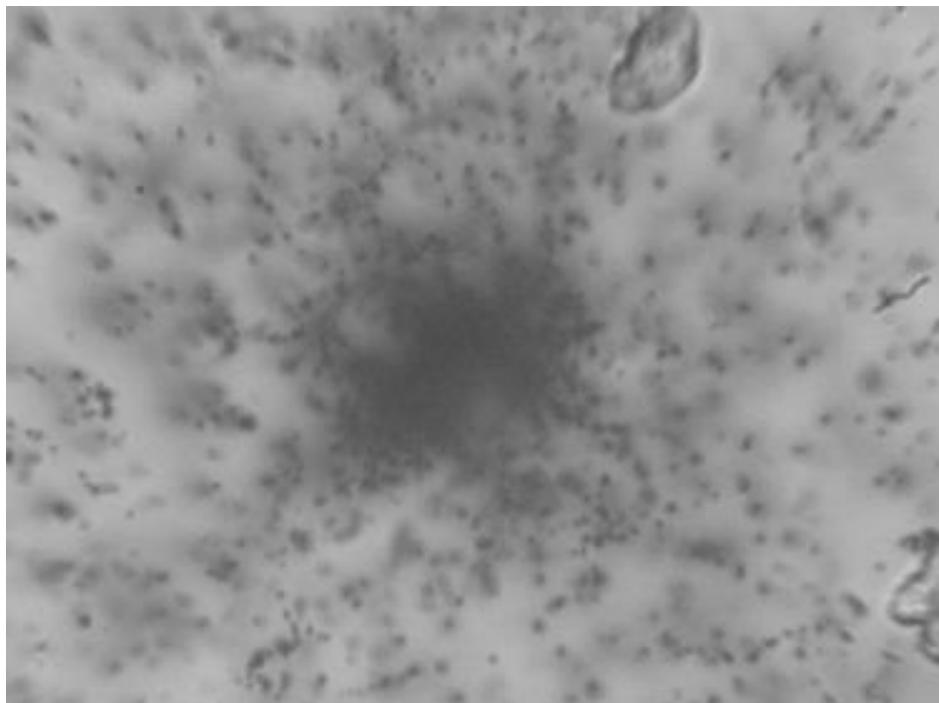
В эксперименте EMU-15 использовалась ядерная фотоэмulsionия Р2Т-50.

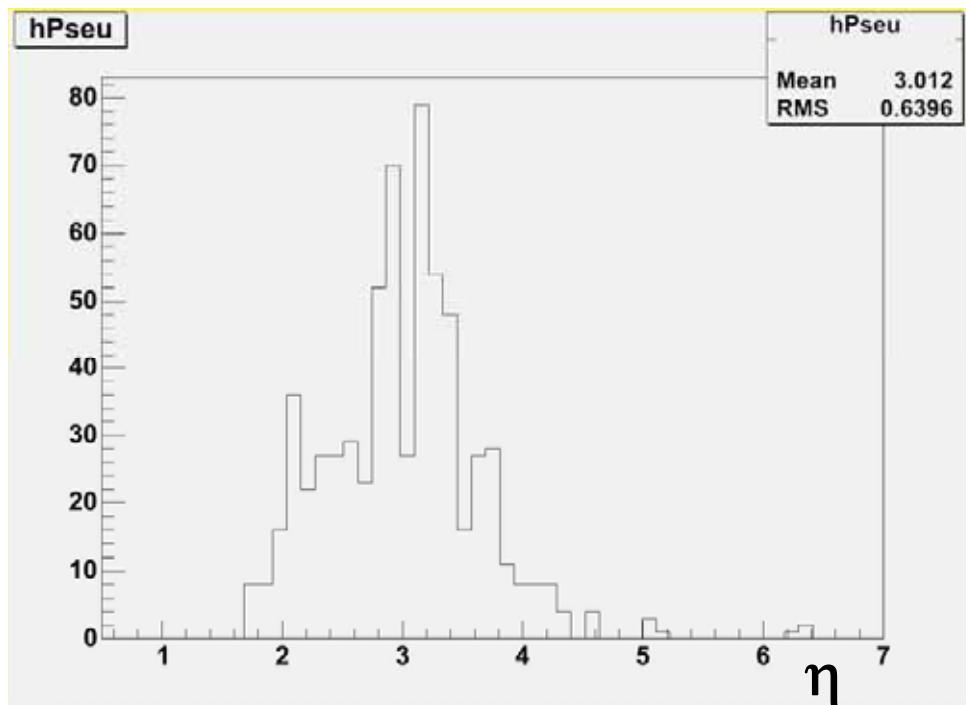
При прохождении заряженной частицы в эмульсии образуется трек, который после проявки виден как цепочка зёрен и их скоплений (блобов), плотностью 35 ± 5 блобов на 100 мкм трека. Размер одного блоба примерно 0,7 мкм. Количество фоновых блобов (вуаль): $5,6 \pm 1,3$ на 100 мкм.

Размер кадра 384×288 пикселей, поле зрения размером 80×60 мкм², размер одного пикселя равен $(214 \pm 2) \times 10^{-3}$ мкм.

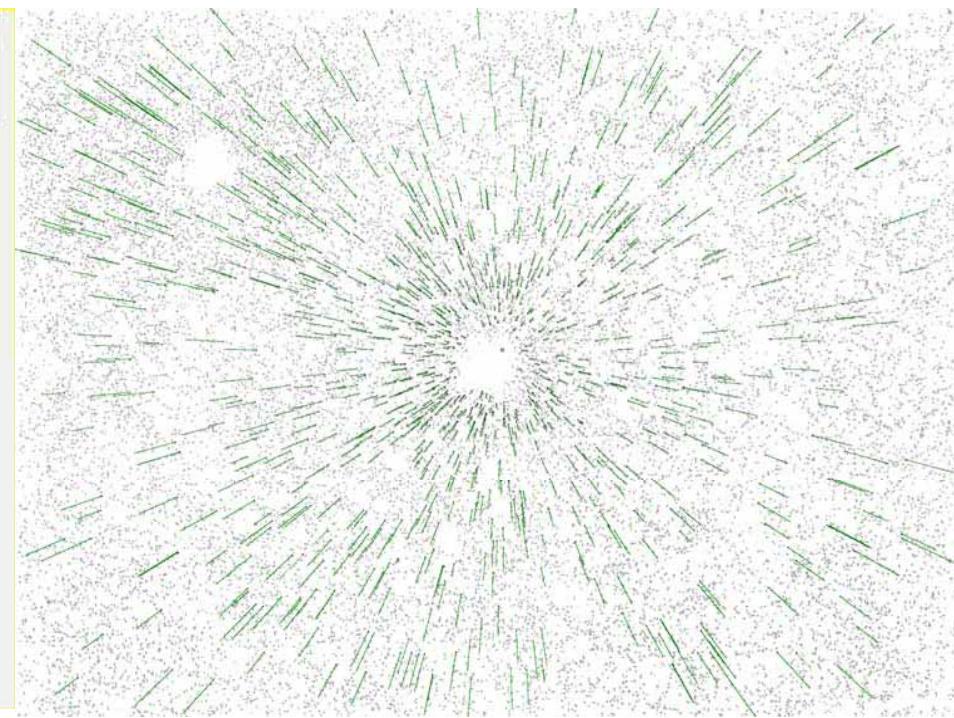
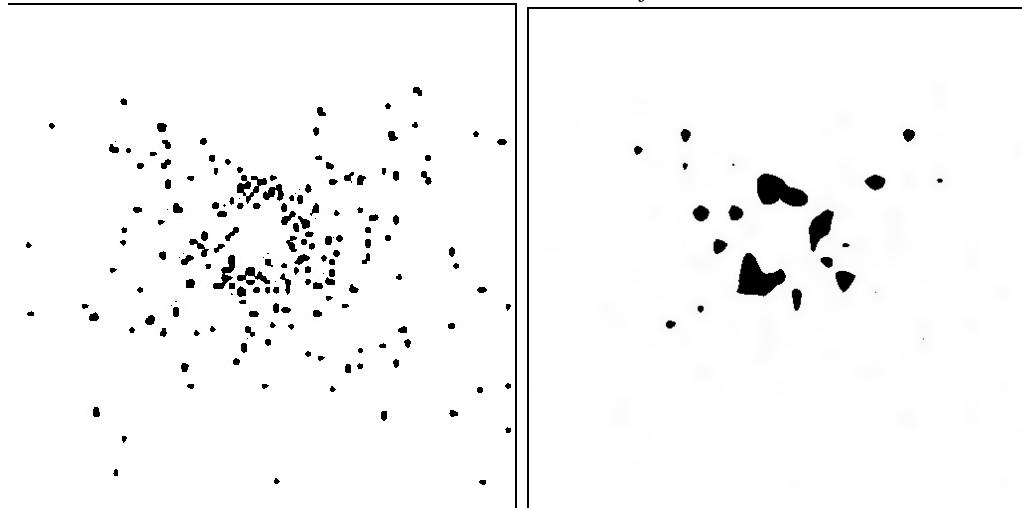
Каждый пиксель несет некоторую информацию о степени почернения, называемую цветом. Для исходных изображений цвет пикселя лежит в диапазоне от 0 до 255 (8 бит). Для изображений, преобразованных фильтром, цвет описывается действительным числом, а для бинаризованных изображений им присваивается «0» или «1».

Результат преобразований центрального поля зрения эксперимента EMU-15





Вейвлет - преобразование разложение функции по ортонормированному базису: $f(x) = \sum_k s_{J,k} \varphi_{J,k}(x) + \sum_{k,j \geq J} d_{j,k} \psi_{j,k}(x)$



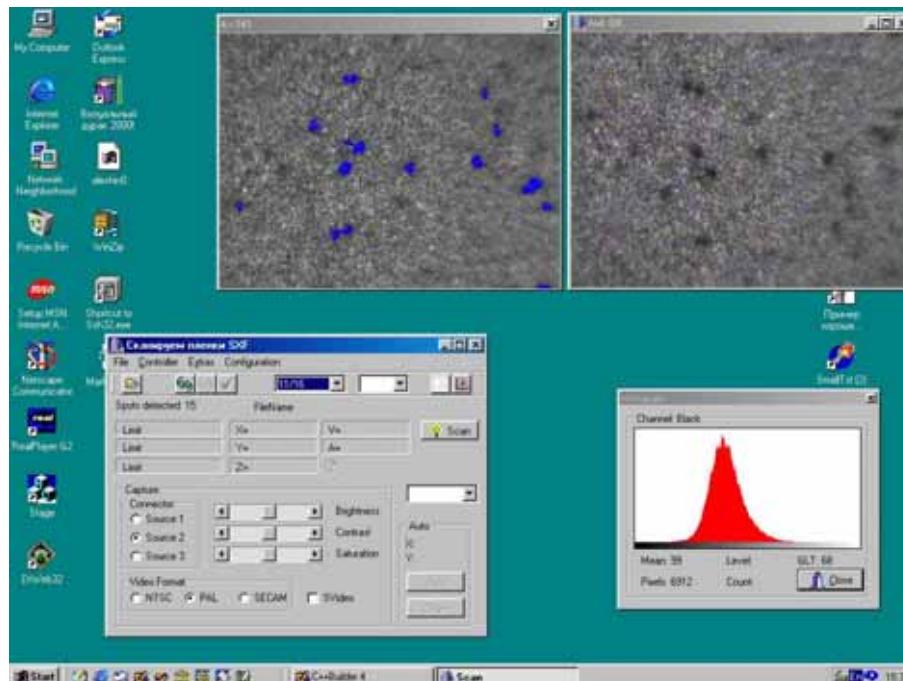
Мишенная диаграмма события 5c15e после автоматизированной обработки.

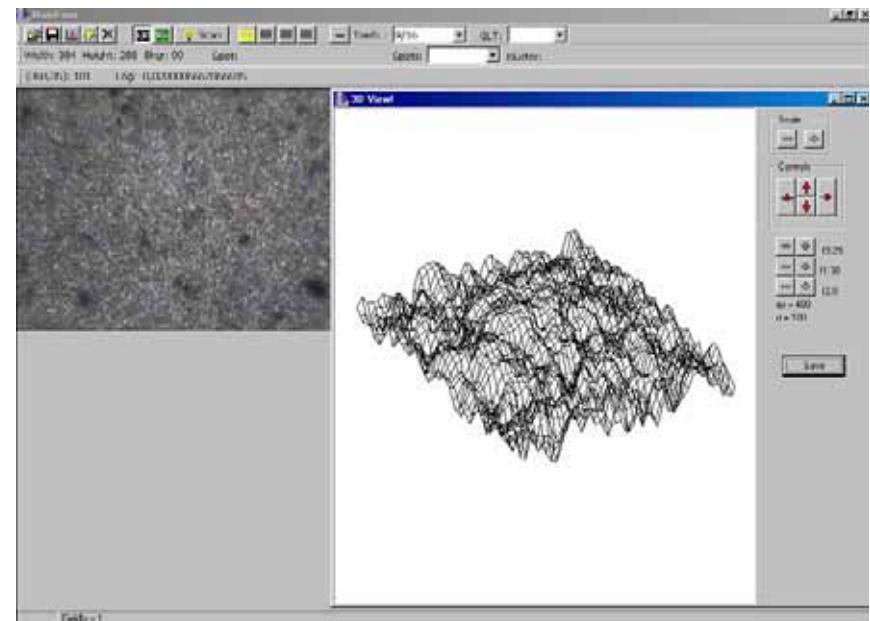
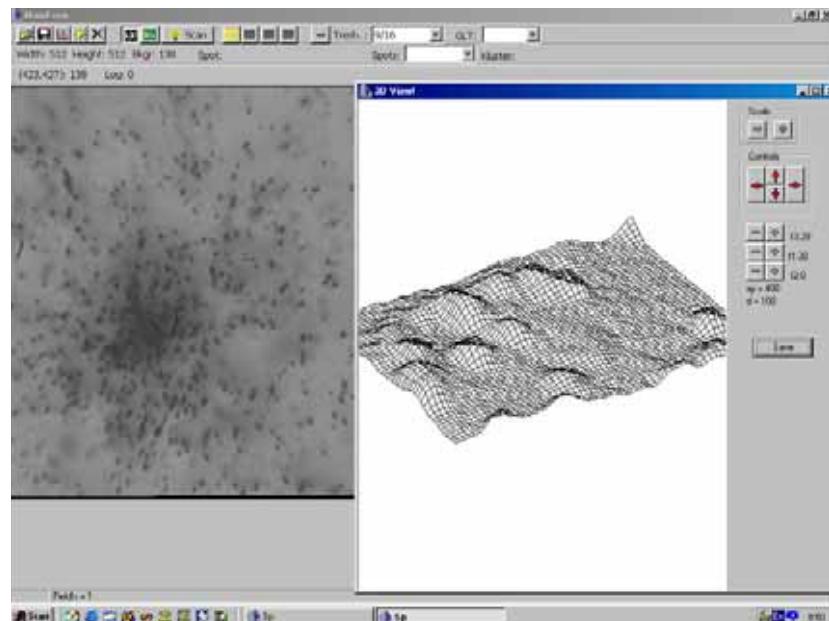
*Событие 5c15e
соответственно после двух и
четырех итераций обратного
вейвлет-преобразования.*

Изучение ядерного состава и энергетического спектра первичного космического излучения при высоких энергиях прямыми методами по данным эксперимента RUNJOB.

С 1995 г. по 1999 г. в рамках российско-японского совместного баллонного эксперимента RUNJOB проведено 10 успешных полетов баллонов с эмульсионными камерами на борту общей продолжительностью 1440 ч на высоте 32 км.

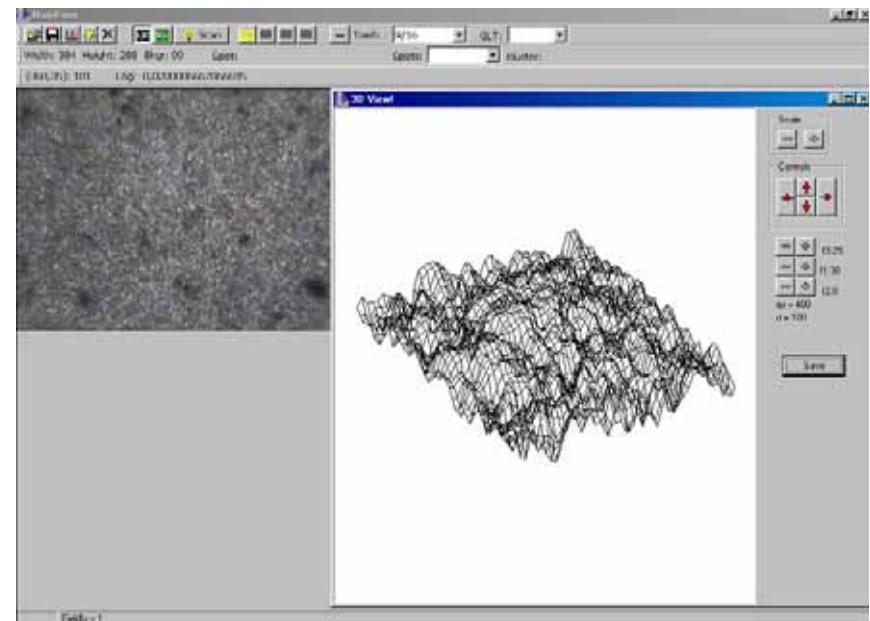
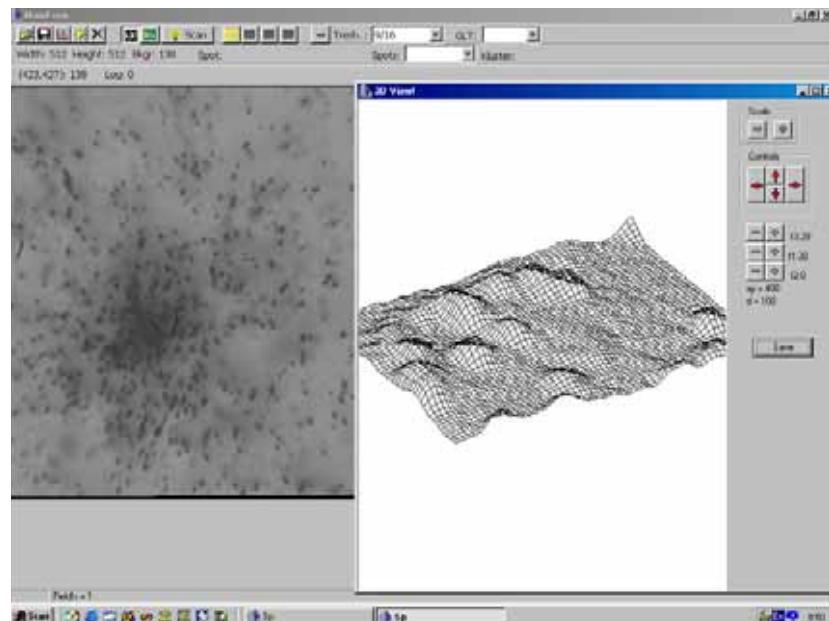
Камеры имели сложную слоистую структуру с десятками слоев фоточувствительных детекторов (рентгеновской пленки и ядерной эмульсии), углерода или стали в мишени, а также 2-х мм слоев свинца в тонком калориметре. Обработка фоточувствительных слоев проводилась четырьмя группами в России и Японии. Следует отметить, что методика обработки ядерно-эмulsionных пленок чрезвычайно трудоемкая, включая использование автоматизированных микроскопных комплексов. Особенно трудно идентифицировать первичный протон в экспозициях такой длительности. Для этого требуется очень высокая точность предсказания области поиска треков в эмульсии – меньше 30 мкм.





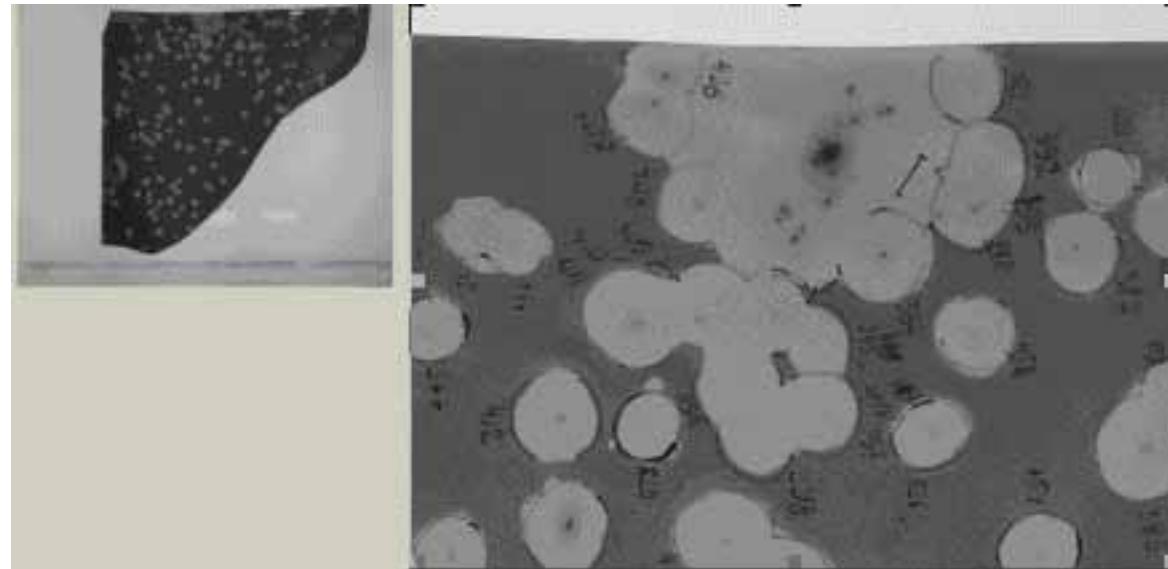
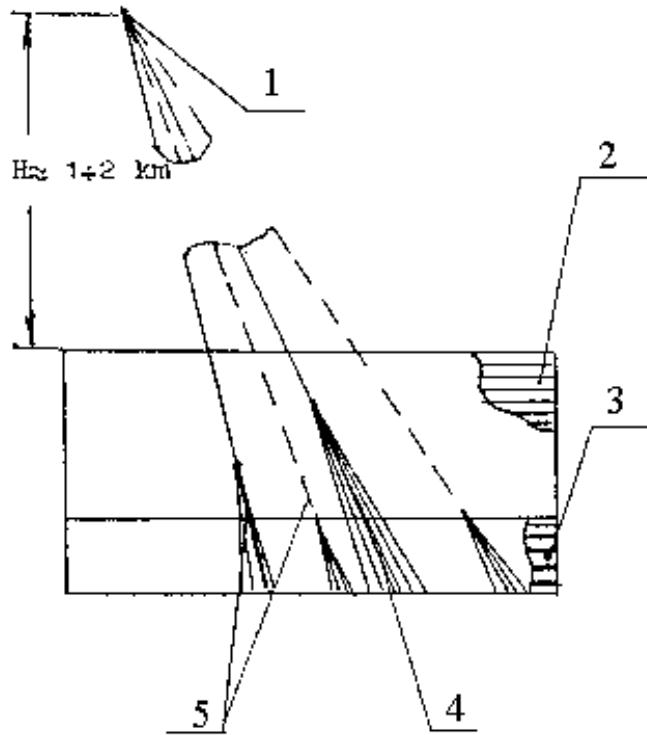
Обработаны данные камеры 1996 г.; восстановлены треки от тяжелых ядер, построены угловые распределения, найдены зарядовые диапазоны регистрируемых частиц, оценена эффективность регистрации частиц, получены целеуказания для поиска следов ядер в эмульсии. Использование ПАВИКОМ дало возможность российским физикам на равных со своими японскими коллегами участвовать в обработке экспериментального материала. Созданное программное обеспечение для автоматического сканирования и анализа микроизображений позволяет обрабатывать большие площади ($0,5 \text{ м}^2$) трековых детекторов с высоким пространственным разрешением (7 мкм/пиксель и выше) с большой скоростью (16 см 2 /мин).

Коллаборацией RUNJOB (с участием ФИАН) были получены результаты по спектрам протонов, ядер гелия, ядер группы СНО, железа по спектру всех частиц. Показано, что спектры ядер протонов и гелия имеют близкие показатели и не указывают на заметное укручение в области энергий до 1 ПэВ/частицу.



Обработаны данные камеры 1996 г.; восстановлены треки от тяжелых ядер, построены угловые распределения, найдены зарядовые диапазоны регистрируемых частиц, оценена эффективность регистрации частиц, получены целеуказания для поиска следов ядер в эмульсии. Использование ПАВИКОМ дало возможность российским физикам на равных со своими японскими коллегами участвовать в обработке экспериментального материала. Созданное программное обеспечение для автоматического сканирования и анализа микроизображений позволяет обрабатывать большие площади ($0,5 \text{ м}^2$) трековых детекторов с высоким пространственным разрешением (7 мкм/пиксель и выше) с большой скоростью (16 см 2 /мин).

Коллаборацией RUNJOB (с участием ФИАН) были получены результаты по спектрам протонов, ядер гелия, ядер группы СНО, железа по спектру всех частиц. Показано, что спектры ядер протонов и гелия имеют близкие показатели и не указывают на заметное укручение в области энергий до 1 ПэВ/частицу.



«СТРАНА» - обработка и анализ уникального гамма-адронного семейства с полной энергией частиц $2 \cdot 10^{16}$ эВ. На комплексе ПАВИКОМ были проведены измерения ядерных эмульсий (эксперимент ФИАН с использованием рентген-эмulsionционной камеры, облученной на высотном аэростате), содержащих уникальное гамма-адронное суперсемейство СТРАНА с $E_0 > 10^{16}$ эВ. Было измерено всего более 800 пятен от каскадов семейства, зарегистрированных в 8 слоях ядерных фотоэмульсий гамма блока стратосферной рентген-эмulsionционной камеры. На фотографии – гамма-адронное семейство в рентгеновской пленке калориметра эмульсационной камеры. Семейство состоит из 107 вторичных частиц, включая 76 гамма-квантов, 30 адронов и 1 лидирующую частицу, имеет ряд интересных особенностей.

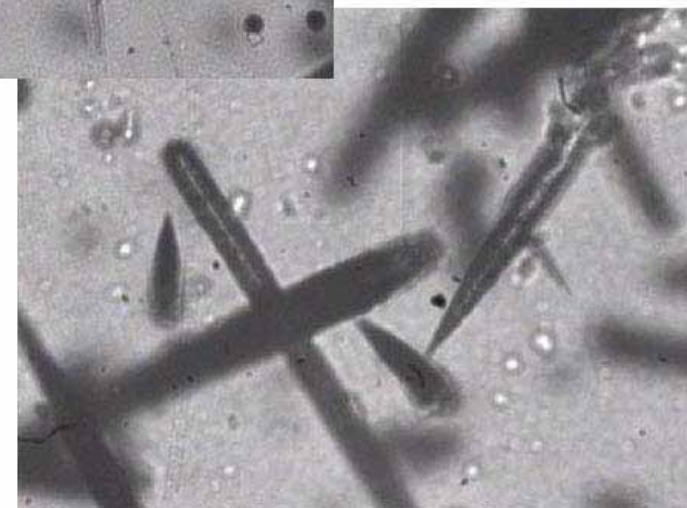
**Тестовые измерения для автоматизированной обработки данных
эксперимента «ПЛАТАН» с целью исследования первичных космических
лучей солнечного и галактического происхождения методом многослойных
твердотельных трековых детекторов.**



*Методика трековых
твердотельных детекторов
используется Санкт-
Петербургским Физико-
техническим институтом
им. А.Ф.Иоффе РАН для изучения потоков
ядер первичного космического излучения
солнечного и галактического
происхождения.*



*Примеры
оцифрованных
оптических
изображений
следов ядер в
образцах
детекторов CR-39*



Исследование кластеризации нуклонов в легких ядрах посредством изучения процессов мультифрагментации в эксперименте «БЕККЕРЕЛЬ».

4.5A GeV/c ^{24}Mg Peripheral Dissociation into charge state

2+2+2+2+2+2 with ^8Be like fragments

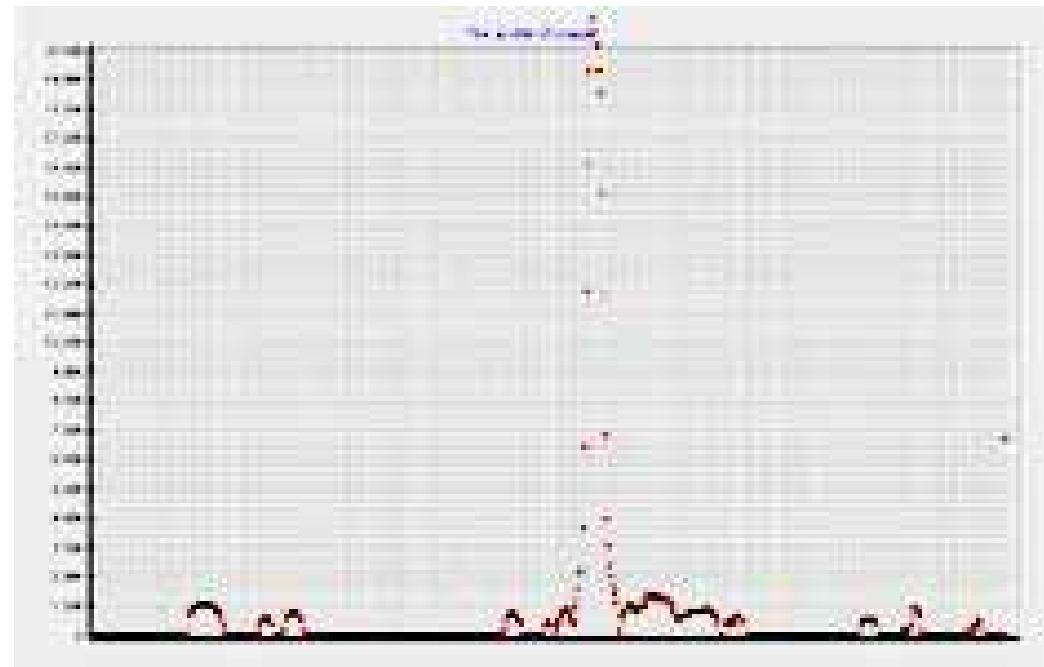
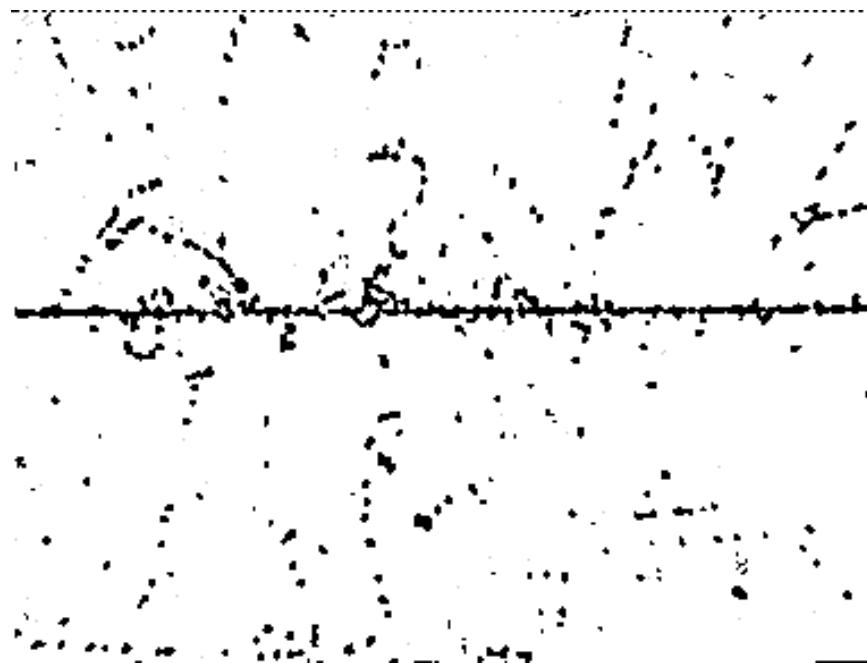


Слои фотоэмulsionии с размерами 100×200 мм^2 и толщиной эмульсионного слоя около 600 мкм облучаются продольно вторичными пучками легких релятивистских ядер He-4, Li-6, Li-7, Be-7, B-10, C-12, N-14, O-16, Ne-22, Mg-24 и Si-28, полученными на нуклotronе ОИЯИ с энергией выше 1 ГэВ на нуклон.

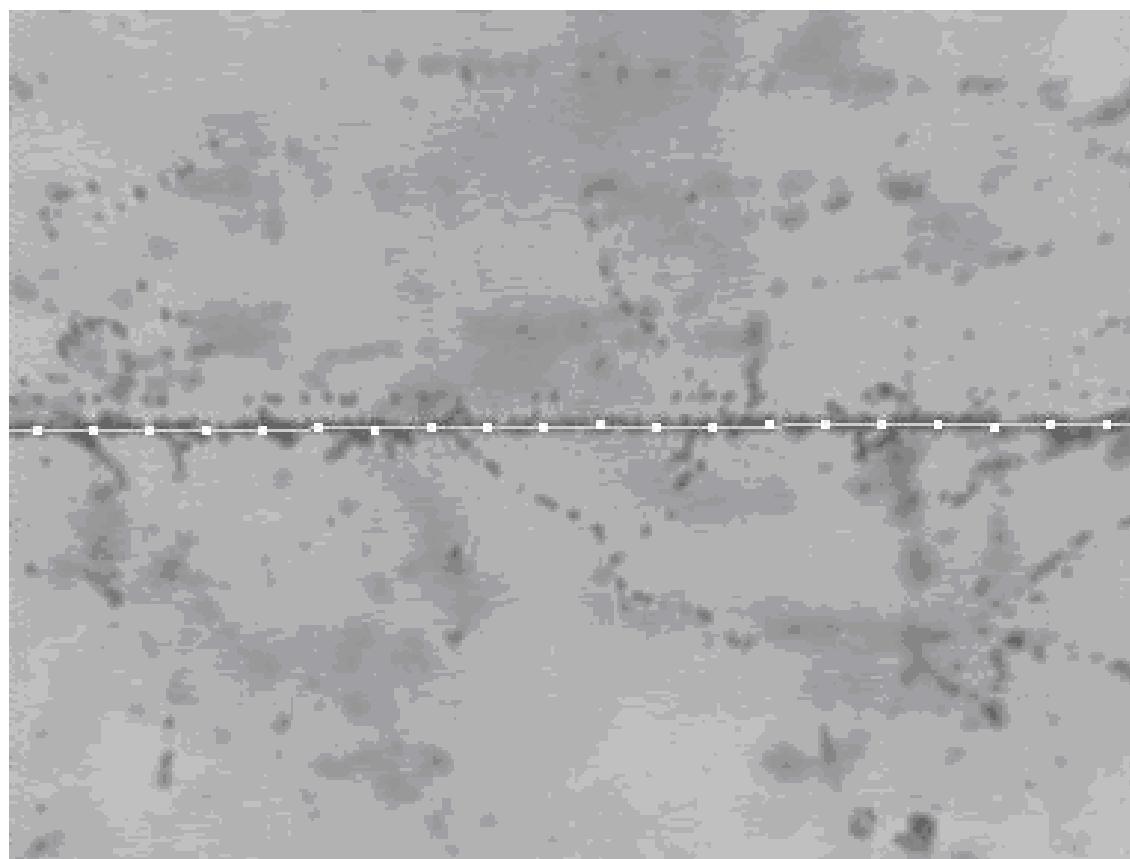
Изучение когерентной (дифракционной) диссоциации ядер лития, углерода, кислорода, магния и серы (когда мишленное ядро эмульсии остается невозбужденным)

Методика автоматизированного определения заряда частицы в толстослойной эмульсии

Построение трека частицы

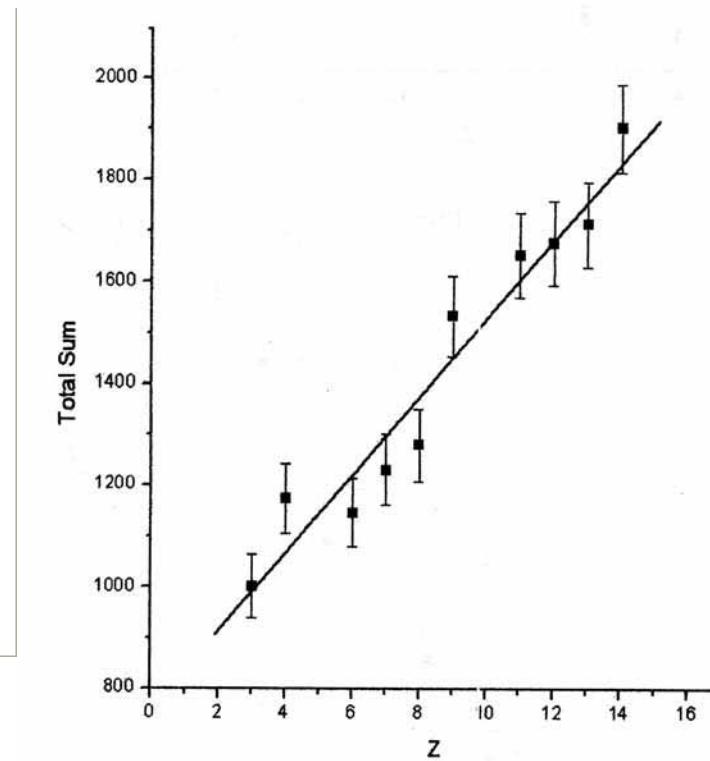
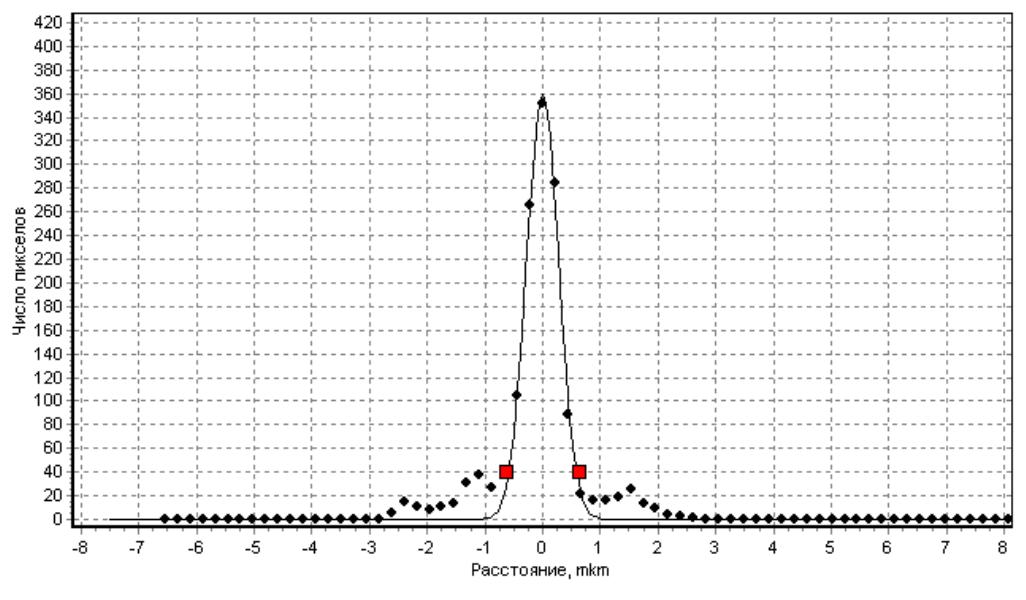


Построение оси трека



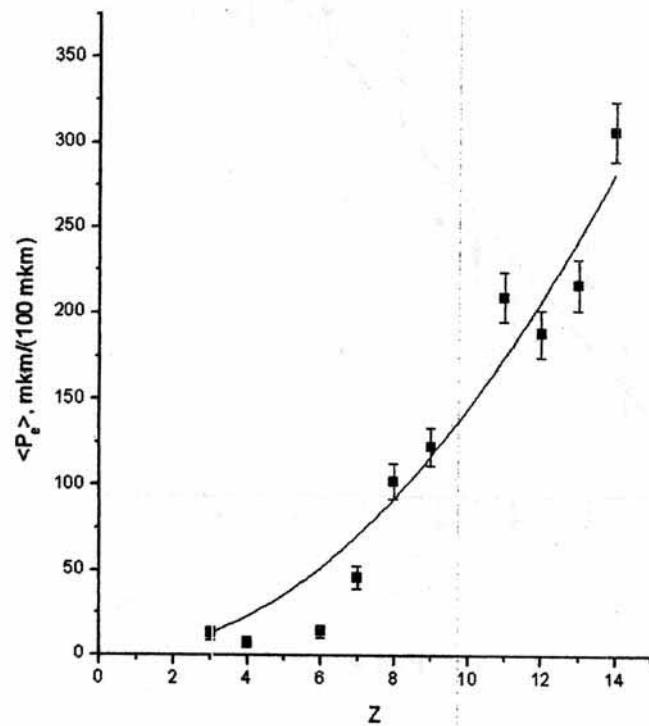
Калибровочные кривые (1)

Зависимость от заряда частицы суммы всех пикселей на площади основного трека заряженной частицы и площади всех треков от дельта-электронов.

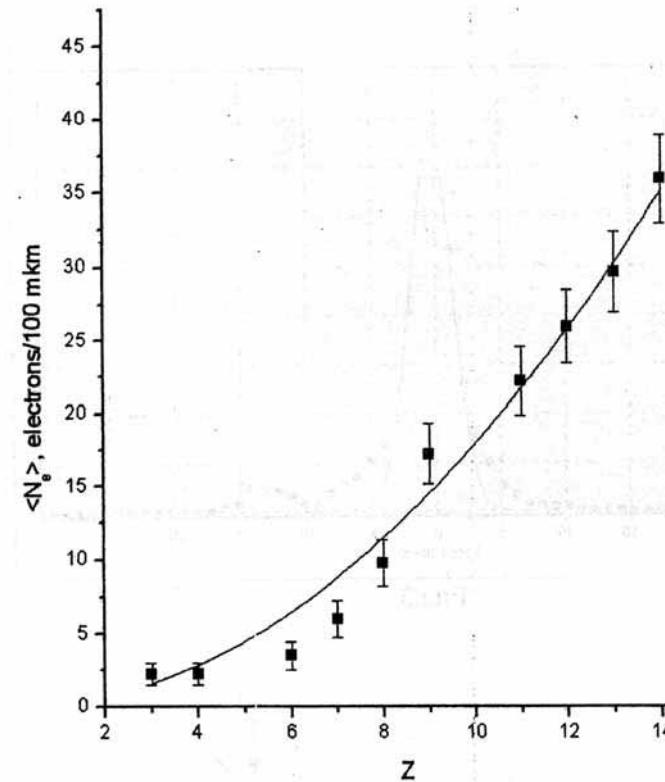


Калибровочные кривые (2)

Зависимость количества дельта-электронов от заряда фрагмента.

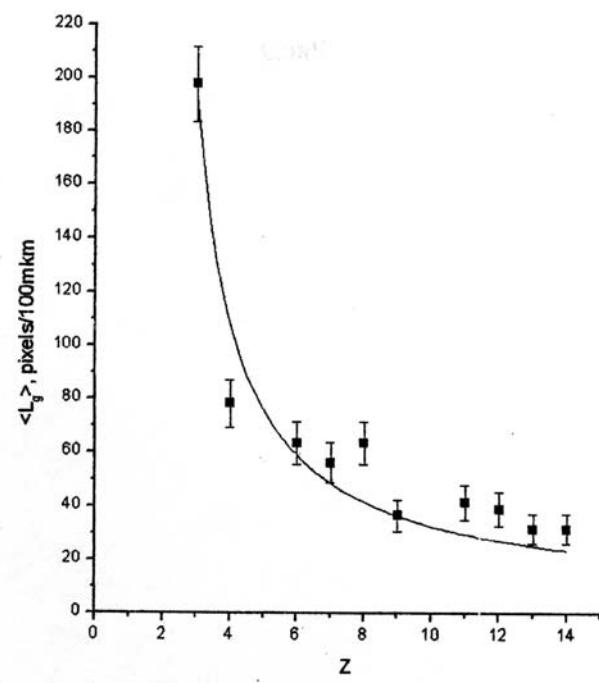


Зависимость длины кривой, огибающей треки дельта-электронов от заряда фрагмента.

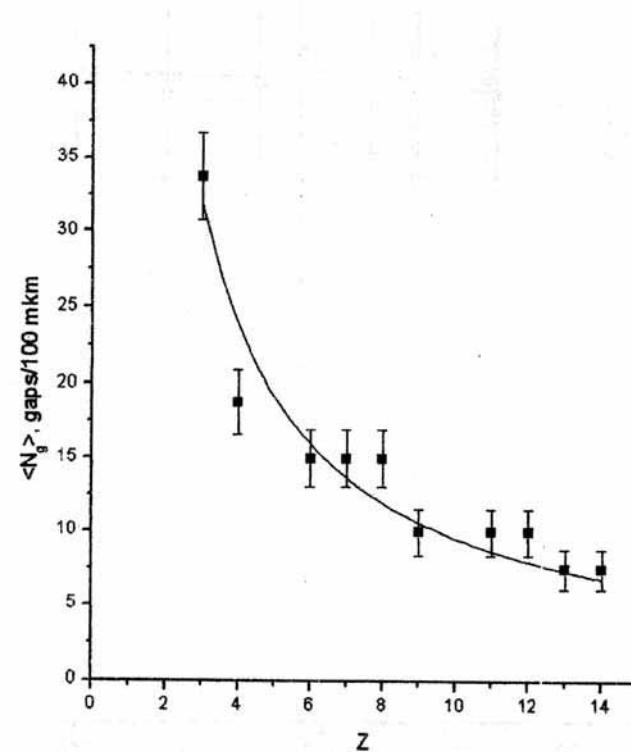


Калибровочные кривые (3)

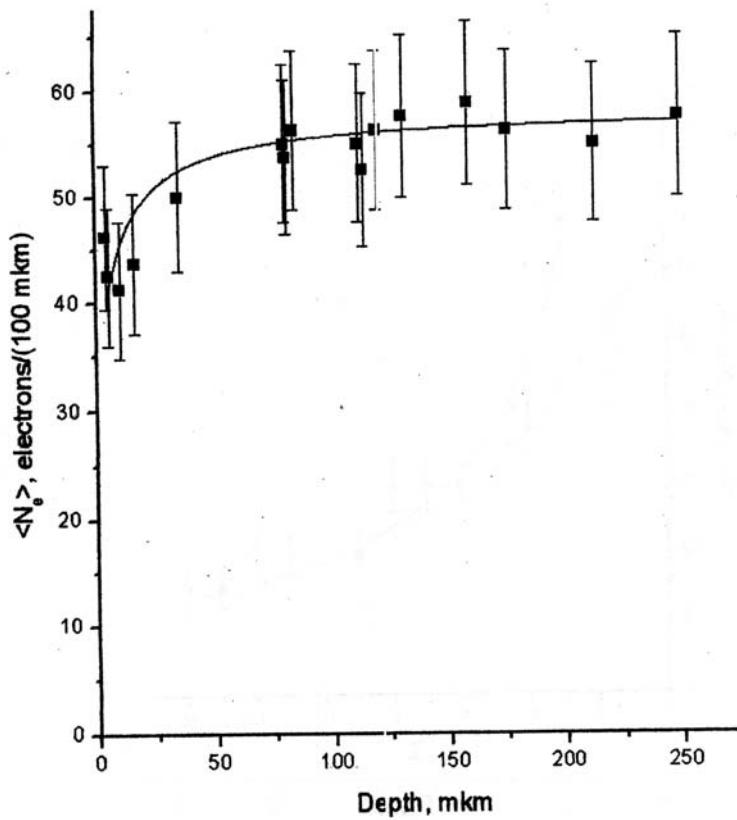
Зависимость количества промежутков заданной длины между сгустками проявленных зерен на треке от заряда фрагмента.



Зависимость суммарной длины промежутков заданной длины между сгустками проявленных зерен на треке от заряда фрагмента.



Зависимость среднего числа электронов от глубины залегания треков



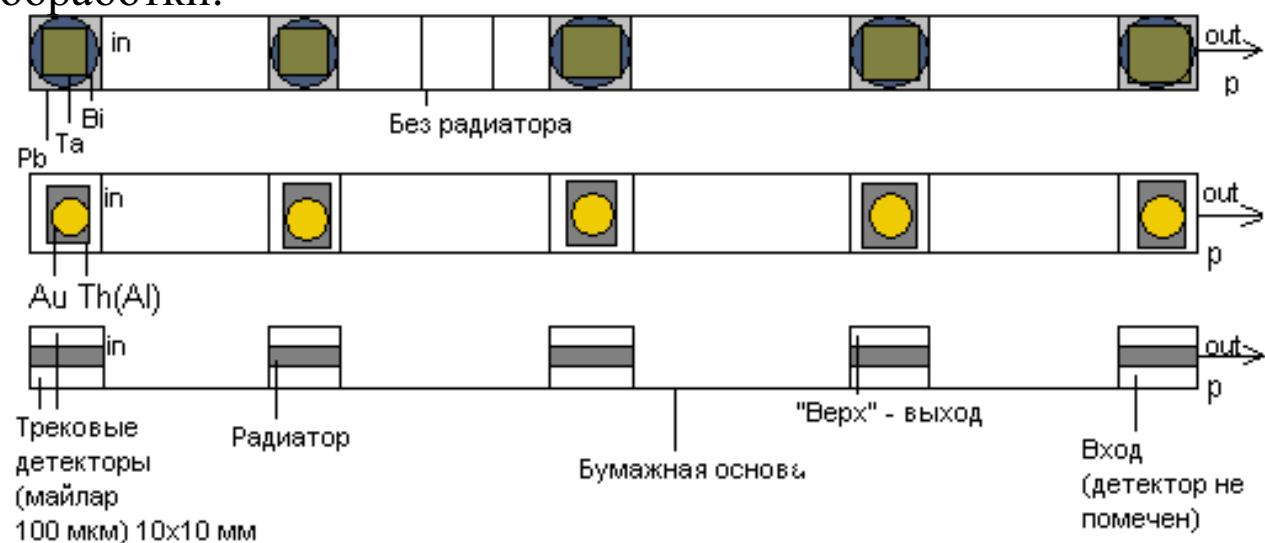
Сравнение результатов определения заряда вручную и в автоматическом режиме

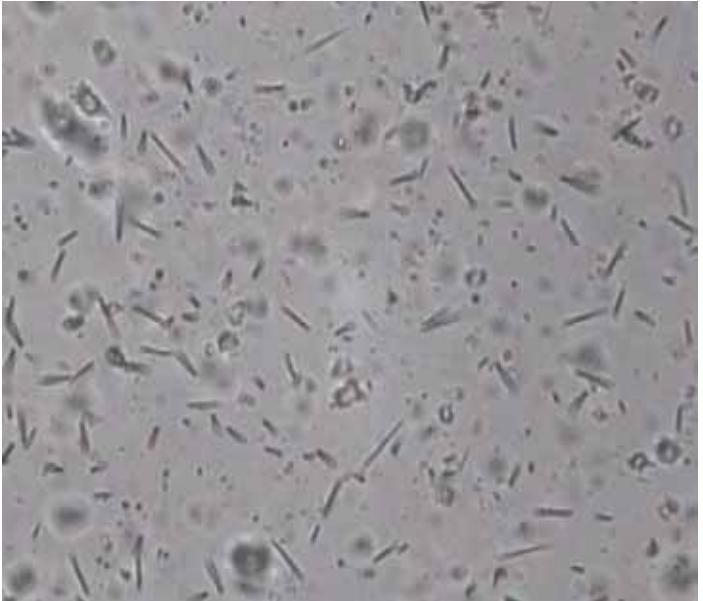
Номер клетки	Заряд, определенный микроскопистом		Заряд, определенный по автоматизированной обработке	
	первичный	фрагмент	первичный	фрагмент
174-43/153 90-39	12	10	12.2±0.4	10.2±0.3
174-43/174 80-48		5		4.9±0.3
174-43/180 67-52	12		12.2±0.4	10.2±0.3
174-43/88 44-55	12	6	12.2±0.4	6.6±0.5
174-43/169 75-48	10		9.7±0.6	4.2±0.9
174-43/129 48-39	10	6	9.3±0.6	5.9±0.4
174-43/59 08-68	14	13	14±0.5	13.3±0.5

Автоматизированная обработка твердотельных трековых детекторов в проекте «Энергия+Трансмутация» - исследование электроядерного способа производства энергии и изучение трансмутации радиоактивных отходов.

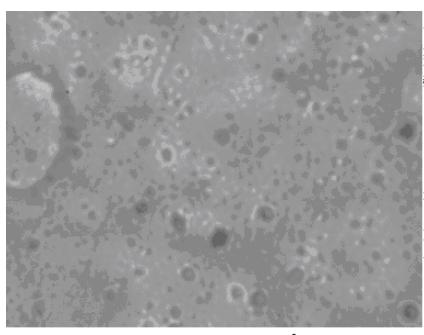
Ускорители заряженных частиц с энергиями порядка 1 ГэВ и более, созданные в свое время для фундаментальных исследований в области ядерной физики, в последнее время все чаще используются для создания на их базе интенсивных импульсных источников нейтронов и экспериментальных установок для исследования электроядерного способа производства энергии и изучения трансмутации радиоактивных отходов атомной энергетики. В 1999 г. В ОИЯИ создана и испытывается модель уран-свинцовой сборки на протонном пучке синхрофазотрона. Широкое применение в этом эксперименте твердотельных трековых детекторов (ТТД) на основе лавсана обусловлено его высокой эффективностью регистрации осколков деления, низким собственным фоном и простотой технологией обработки.

*Схема облучения
майларовых детекторов
толщиной 100 мкм и
размером 10x10 мм.
Облучение проводилось
при трех разных энергиях
пучка протонов: 0.65, 1 и
3.7 ГэВ с использованием 5
типов радиаторов: Bi, Ta,
Pb, Th, Au.*

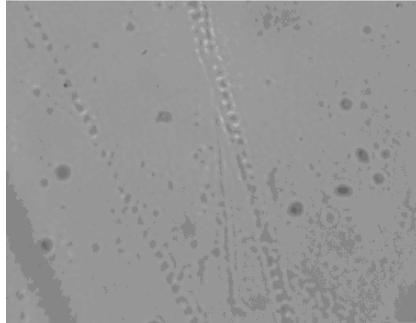




Слева - видеоизображение одного поля зрения размером около 100*100 микрон в твердотельном детекторе эксперимента «ЭНЕРГИЯ+ТРАНСМУТАЦИЯ», полученное на ПАВИКОМ; видны треки осколков деления ядер урана. Справа – результат обработки этого кадра программой, распознающей следы осколков.

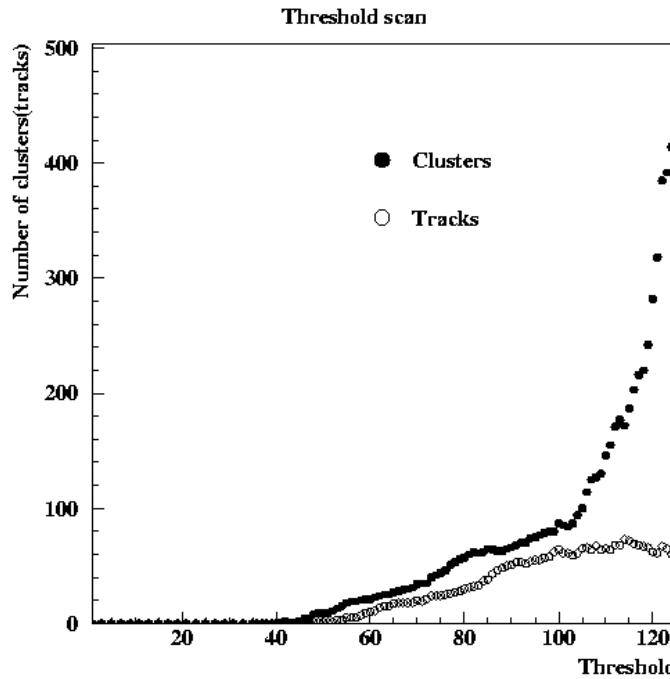
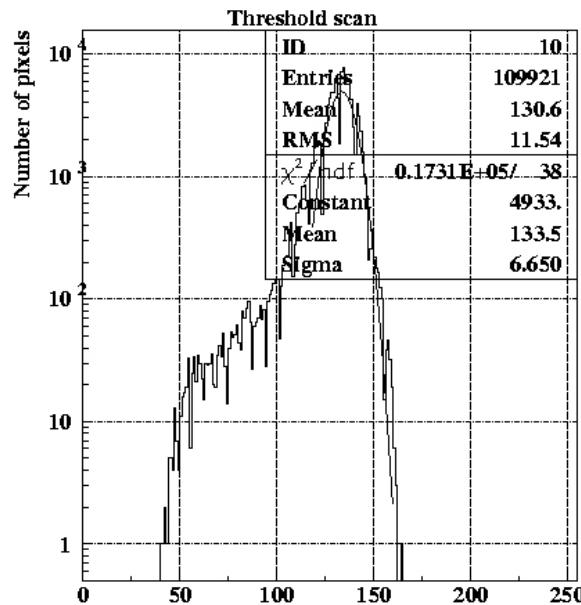
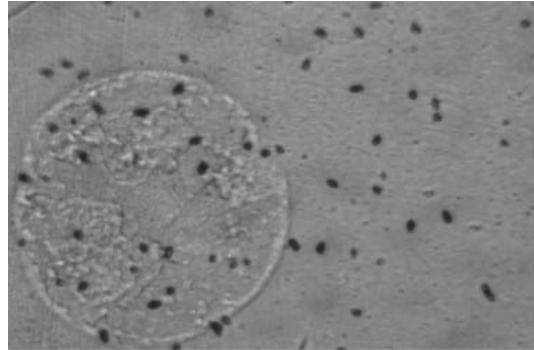


Аи - золото, 1 ГэВ



Та - тантал, 1 ГэВ

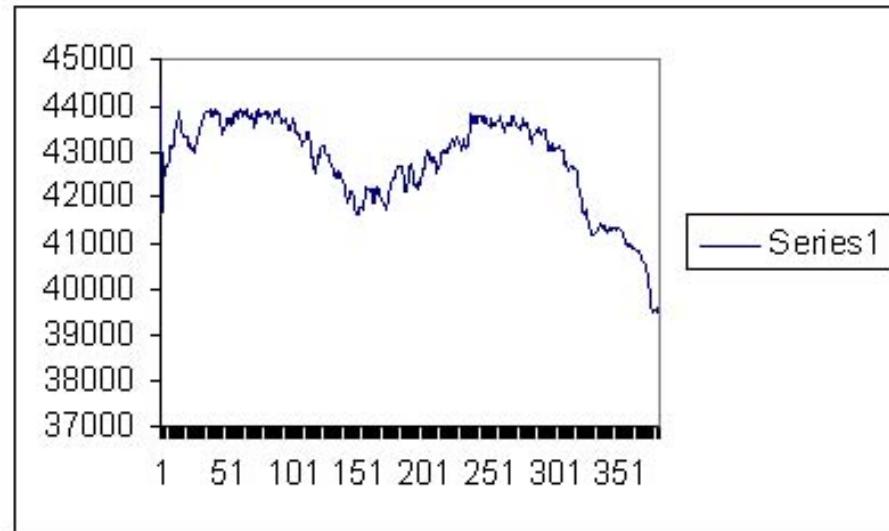
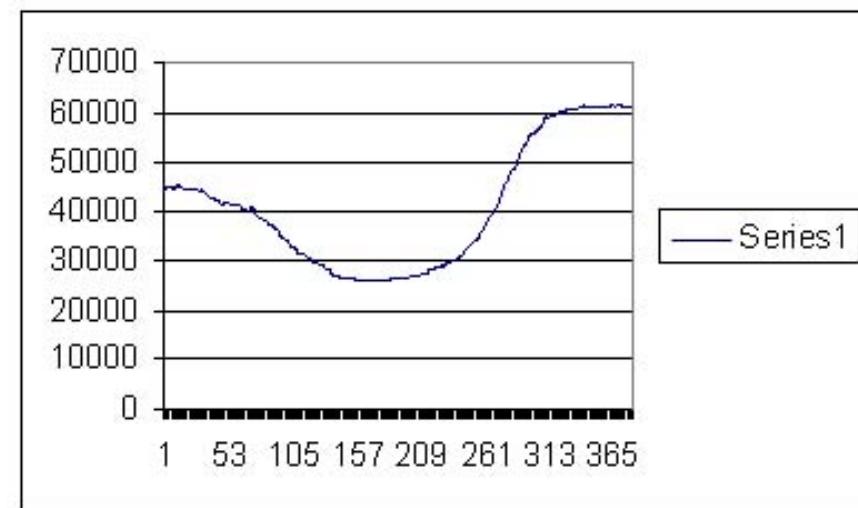
Исходные видеоизображения и изображения распознанных треков для двух типов радиаторов - золото и тантал.

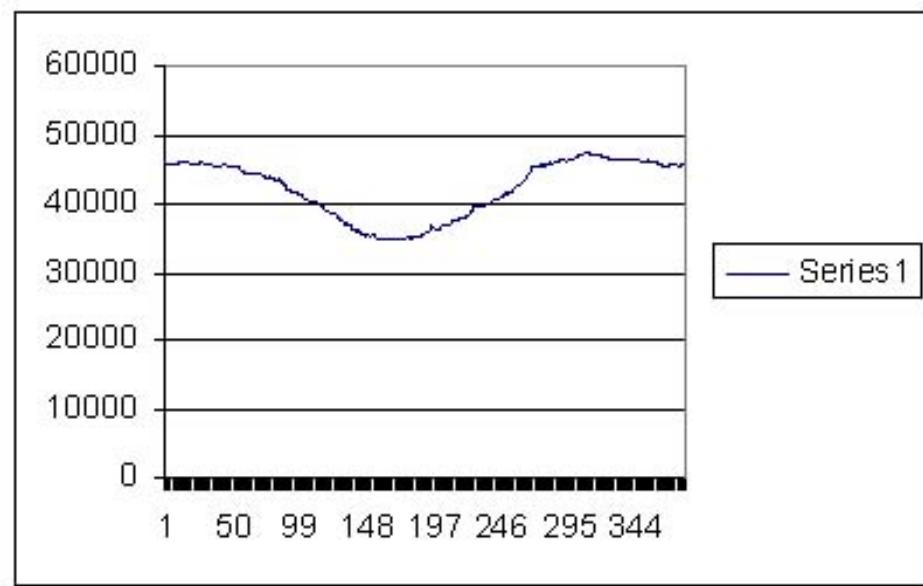
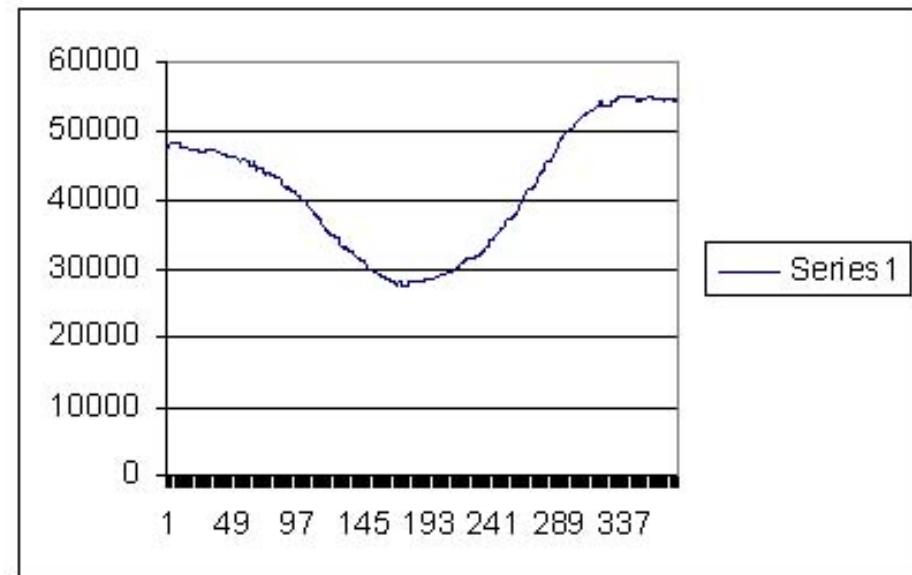
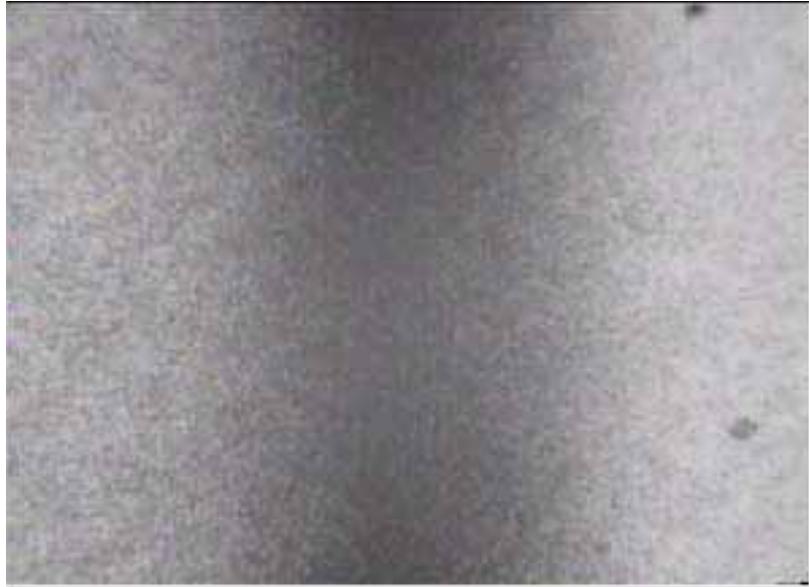


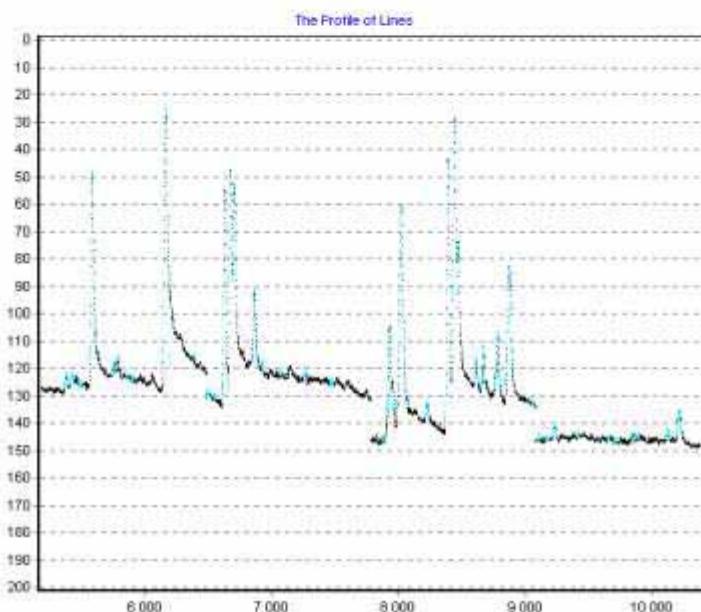
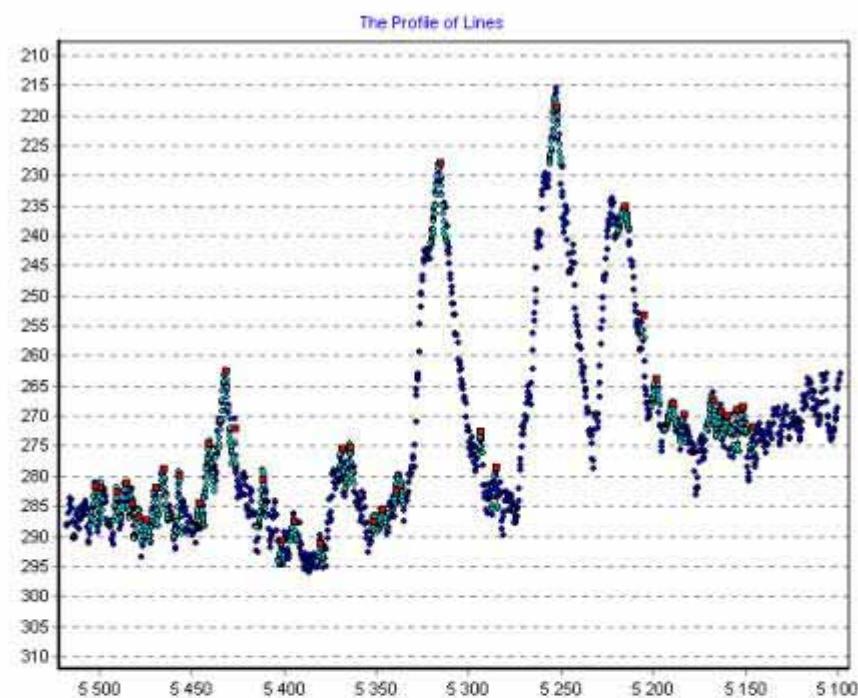
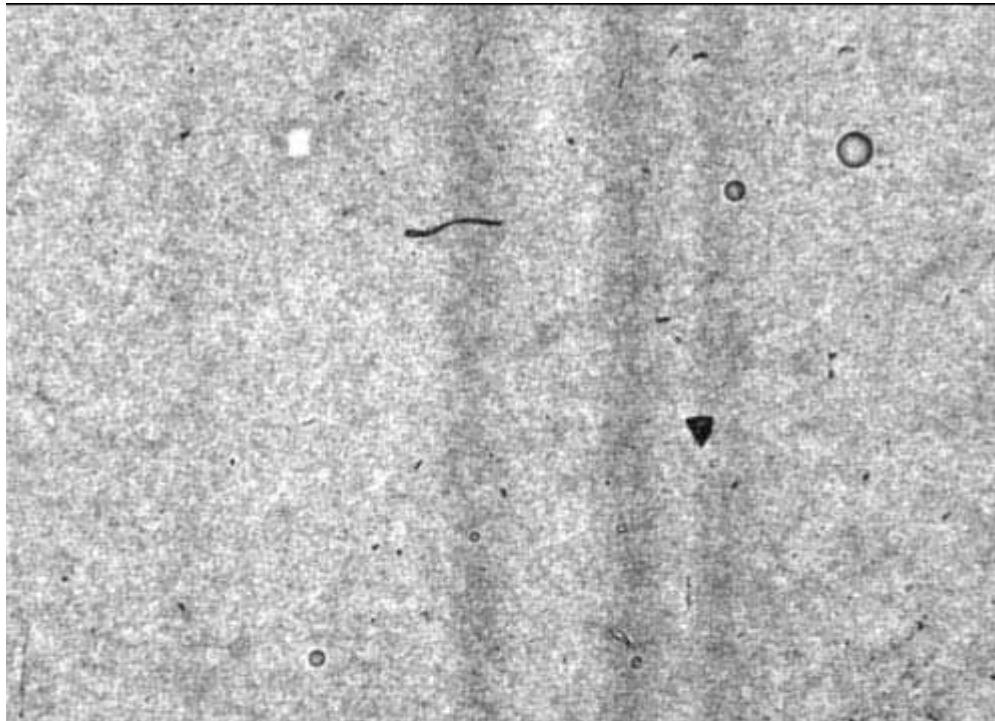
Исходное и обработанное видеоизображение (радиатор – Th), распределение степени чернения, зависимость количества кластеров и треков от порога обрезания.

В частности, по результатам обработки трековых детекторов, облученных в ноябрьском сеансе 1999 года, было определено число делений нейtronами (отдельно - тепловыми, резонансными и быстрыми) в зависимости от расстояния от оси симметрии уран-свинцовой сборки. Наблюдается тенденция роста вклада медленных нейтронов с увеличением радиуса.

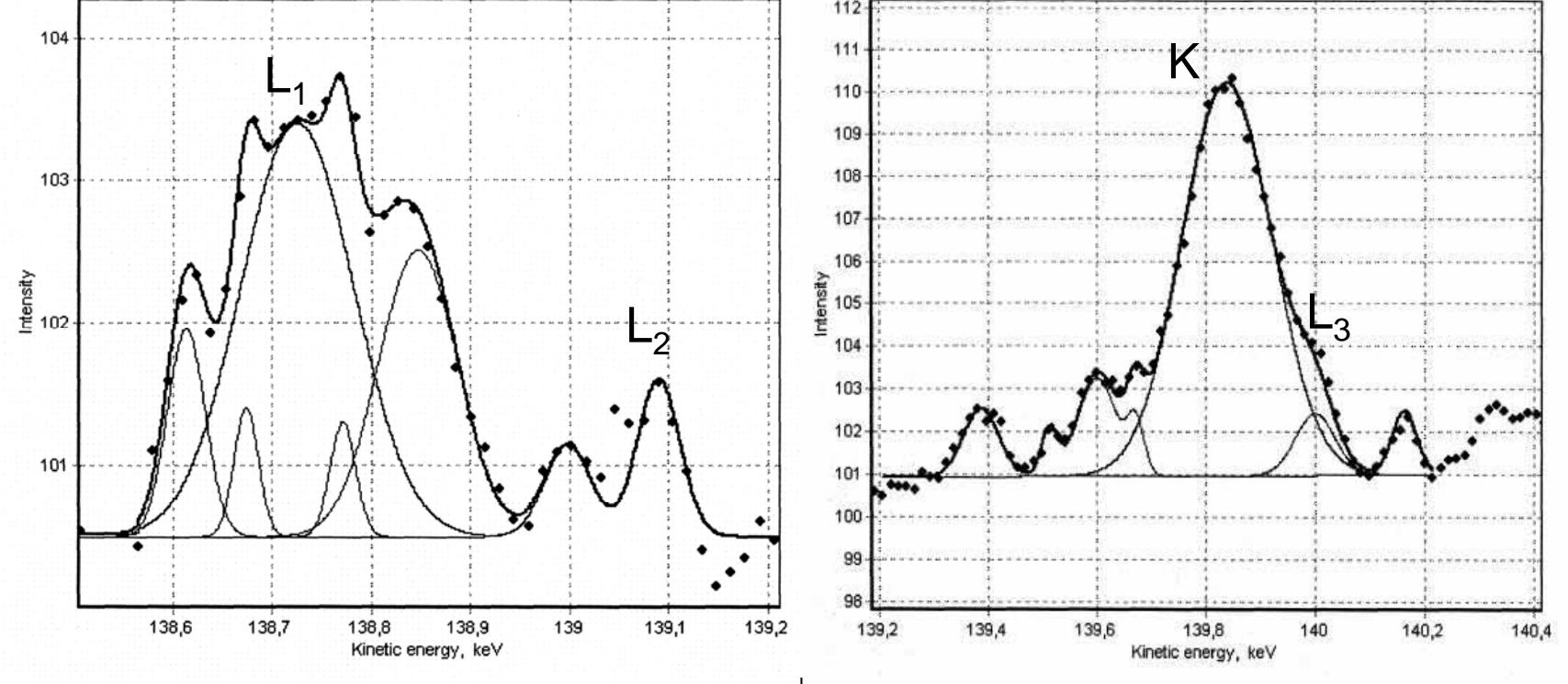
Экспериментальное исследование спектров электронов внутренней конверсии методом ядерной спектроскопии.







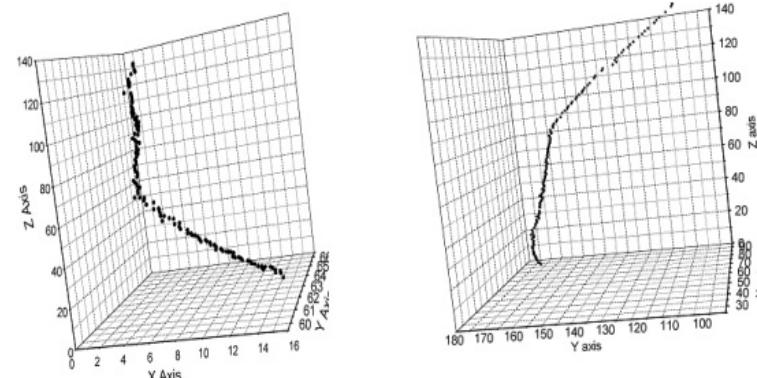
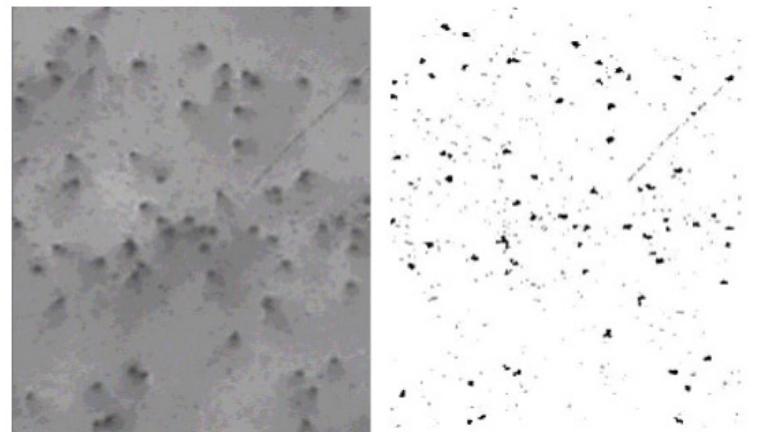
Идентификация линий ^{158}Er и ^{161}Ho



Исследование структуры легких нейтроноизбыточных ядер.

Эксперимент ИЯИ РАН направлен на решение фундаментальной проблемы – исследование структуры легких ядер, удаленных от долины стабильности. Особый интерес представляют легчайшие нейтроноизбыточные ядра (например $^{6,8}\text{He}$, ^{11}Li , ^{14}Be). Исследование таких экзотических ядер с двумя и более нейtronами в приповерхностной области (так называемом гало) может дать информацию о возможности существования нейтронных кластеров в слабосвязанных системах кор-гало.

Для исследования реакций передачи двух нейтронов $^6\text{He} + \text{A} \rightarrow ^4\text{He} + \text{B}$ проведено облучение стопок ядерных фотоэмульсий ядрами ^6He с энергией $\sim 10 \text{ MeV/n}$. Каждая стопка состояла из четырех фотоэмульсий толщиной 350 микрон каждая. Общая толщина стопки была больше длины пробега ^6He с энергией 60 MeV и достаточна для поглощения вторичных частиц образующихся в фотоэмульсии. В качестве ядер-мишеней служат ядра элементов, входящих в состав фотоэмульсии (^{12}C , ^{14}N , $^{79,81}\text{Br}$, $^{107,109}\text{Ag}$). Облучение производилось пучком, падающим перпендикулярно плоскости фотоэмульсии.



Исследование экзотических ядер с двумя и более нейtronами в приповерхностной области может дать информацию о возможности существования нейтронных кластеров в слабосвязанных системах кор-гало

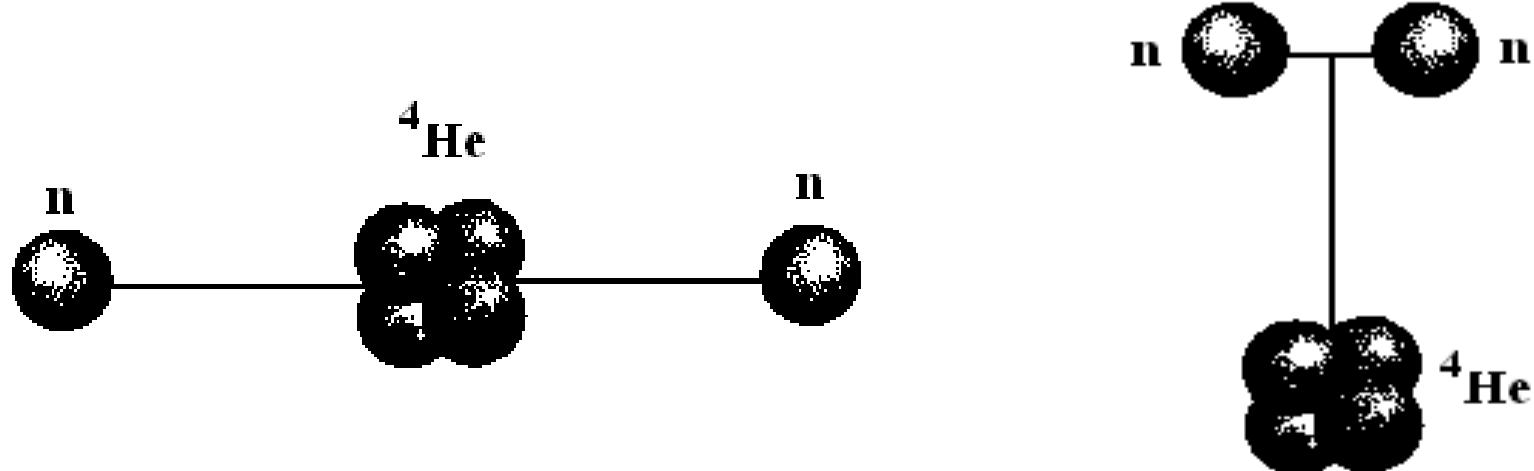
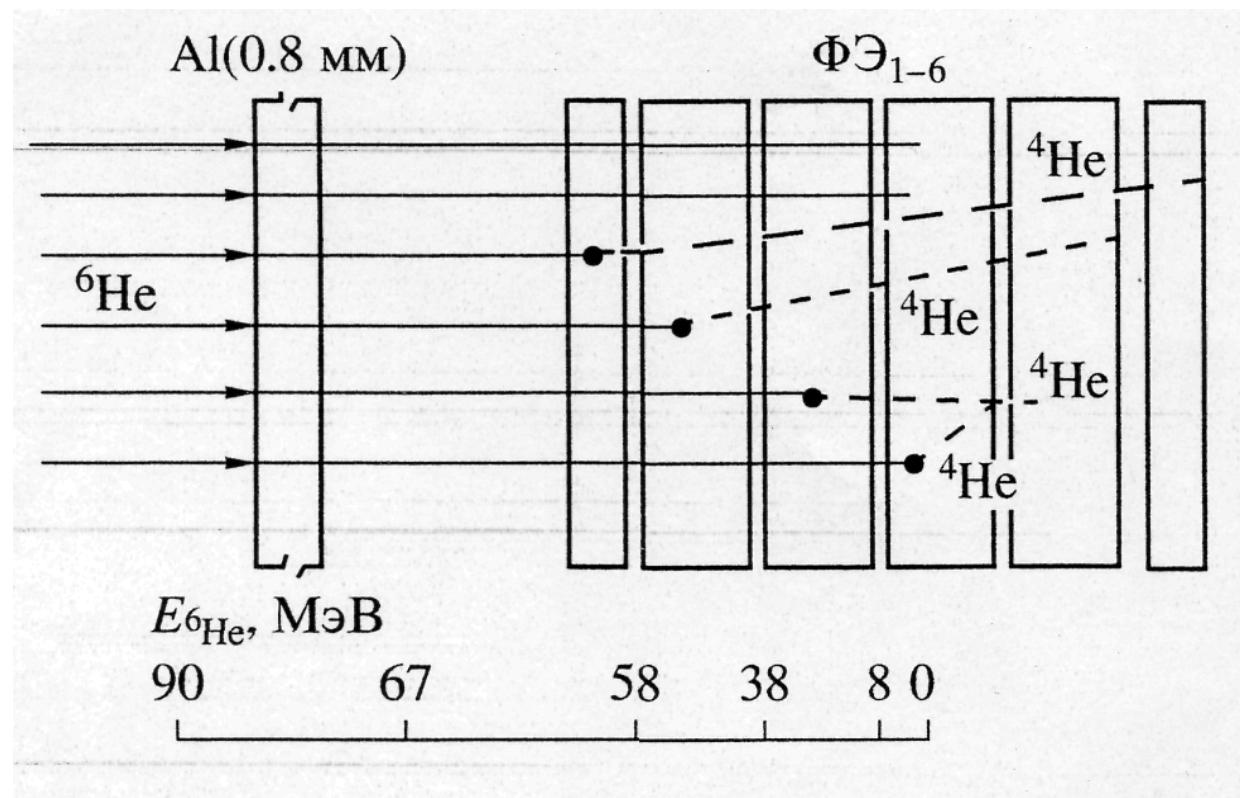
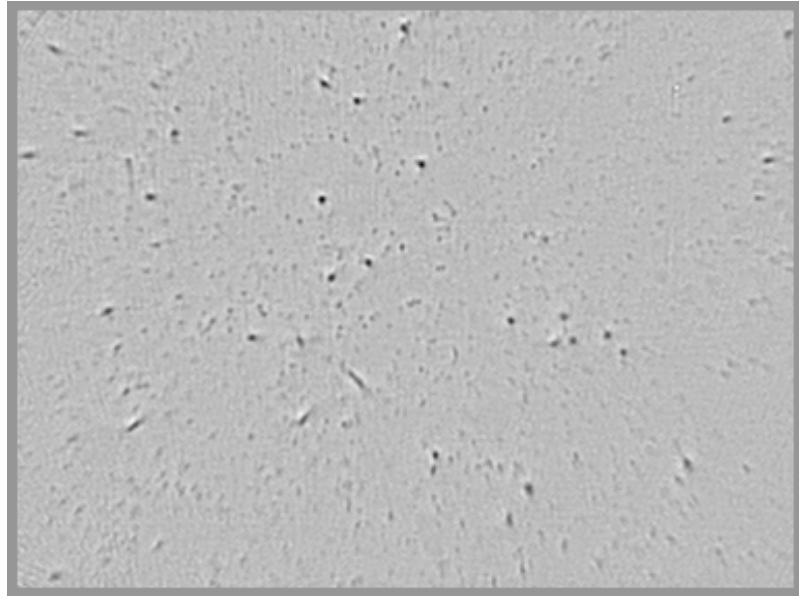


Схема эксперимента



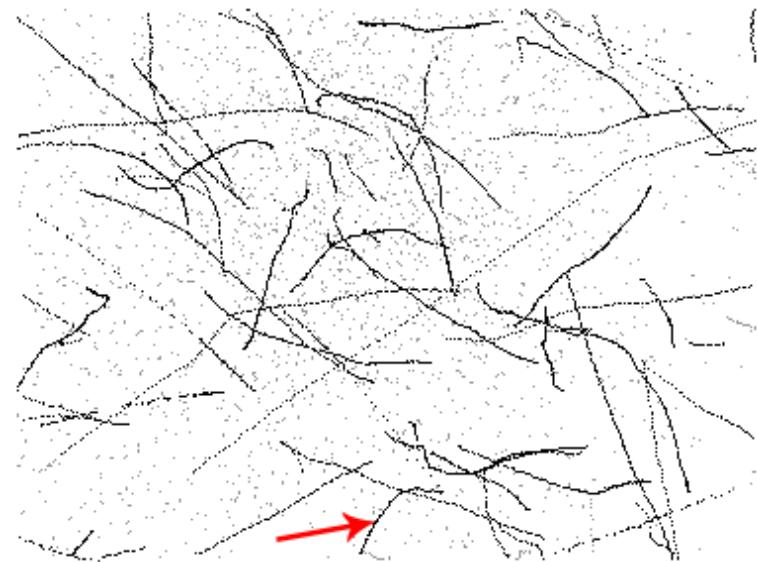


1



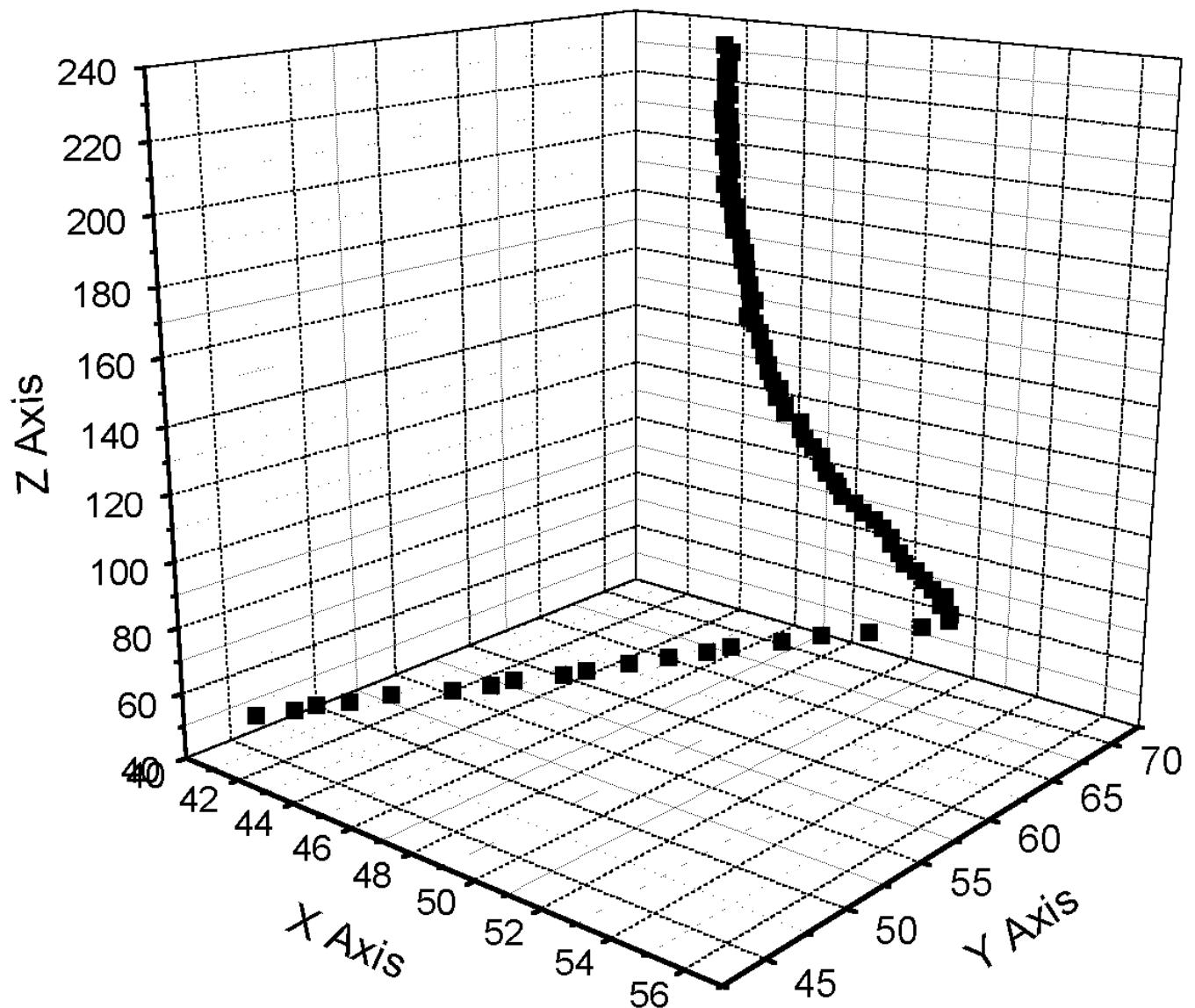
2

3

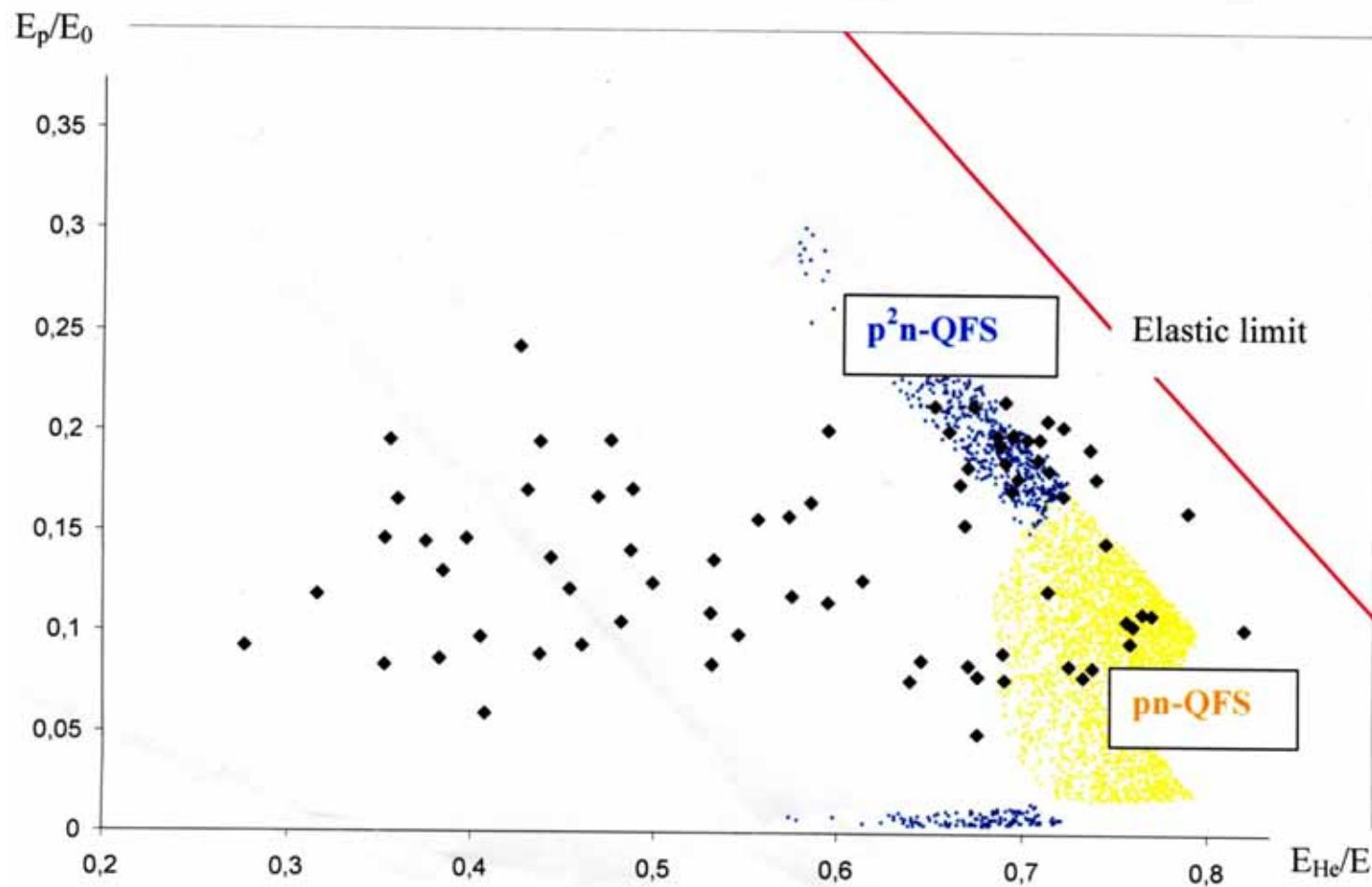


4

1 – видеоизображение на одной глубине в эмульсии размером 80×60 мкм; 2 – результат обработки этого же кадра математическим фильтром, определяющим границы блобов; 3 – бинаризованное изображение этого же кадра; 4 – все треки частиц, прошедших через эмульсию на этом поле зрения; стрелкой отмечен трек, показанный отдельно в более крупном масштабе на след.рис.



Результат восстановления кинематики взаимодействия



Изучение свойств нейтрино имеет фундаментальное значение для физики частиц, астрофизики, космологии

*«Современнику трудно
гадать, какое истинное
место займет
нейтрино в физике
будущего. Но свойства
этой частицы столь
элементарны и
своеобразны, что
естественно думать,
что природа создала
нейтрино с какими-то
глубокими, пока для нас
не всегда ясными
целями».*

*М. А. Марков
«Нейтрино», 1964.*

Три поколения материи (Фермионы)				
	I	II	III	
масса → 2,4 МэВ	1,27 ГэВ	171,2 ГэВ	0	
заряд → $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	
спин → $\frac{1}{2}$	у	с	т	
название → верхний				
Кварки	d 4,8 МэВ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ нижний	s 104 МэВ - $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ странный	b 4,2 ГэВ $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$ прелестный	g 0 0 1 глюон
Лептоны	$< 2,2$ эВ 0 $\frac{1}{2}$ V _e электронное нейтрино	$< 0,17$ МэВ 0 $\frac{1}{2}$ V _μ мюонное нейтрино	$< 15,5$ МэВ 0 $\frac{1}{2}$ V _τ тау нейтрино	$91,2$ ГэВ 0 0 1 Z ⁰ слабое взаимодействие
	e 0,511 МэВ -1 $\frac{1}{2}$ электрон	μ 105,7 МэВ -1 $\frac{1}{2}$ мюон	τ 1,777 ГэВ -1 $\frac{1}{2}$ тау	W [±] 80,4 ГэВ ±1 1 слабое взаимодействие

Бозоны (переносчики взаимодействия)

Масса? Сохранение лептонных чисел? Природа массивных нейтрино?,...

- Традиционно: $m = 0$, сохранение L
- Если $m \neq 0$, L – не сохраняется \rightarrow
- Смешивание \rightarrow

$$\text{weak states} \begin{bmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \\ \nu_\tau \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{e1} & U_{e2} & U_{e3} \\ U_{\mu 1} & U_{\mu 2} & U_{\mu 3} \\ U_{\tau 1} & U_{\tau 2} & U_{\tau 3} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \\ \nu_3 \end{bmatrix} \text{mass states}$$

PMNS matrix - analogous to the quark CKM matrix

- Нейтринные осцилляции
- Б. М. Понтекорво, 1957

НЕЙТРИННЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ: ФОРМАЛИЗМ ОПИСАНИЯ

- Нейтринные осцилляции представляют собой периодический процесс полного или частичного изменения аромата движущегося в вакууме или веществе нейтринного пучка. Существование нейтринных осцилляций возможно, если нейтрино имеет массу и реализуется гипотеза смешивания.

$$\nu_\alpha = \sum U_{\alpha i} \nu_i$$

- В экспериментах с нейтринными пучками обычно анализируют осцилляций нейтрино двух ароматов, например:

$$U = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$\nu_\mu = \nu_2 \cos\theta_{23} + \nu_3 \sin\theta_{23}$$

$$\nu_\tau = -\nu_2 \sin\theta_{23} + \nu_3 \cos\theta_{23}$$

- Параметры Δm^2 и $\sin^2 2\theta$ определяются методом χ^2 при анализе вероятности наблюдения осцилляций в пучке нейтрино с энергией E_ν на расстоянии L

$$P(\nu_\alpha \rightarrow \nu_\beta) = \frac{1}{2} \sin^2 2\theta (1 - \cos \frac{\Delta m^2 L}{2E_\nu})$$

$$\Delta m_{ij}^2 = m_i^2 - m_j^2$$

Эксперименты по нейтринным осцилляциям

- **Реакторные:** CHOOZ, Palo-Verde, KamLand, BOREXINO
- **Мезонные фабрики:** LSND, KARMEN
- **Ускорители :** CHORUS, NOMAD, DONUT
- **Солнечные нейтрино:** Homestake, GALEX, Kamiokande, Super-Kamiokande, GNO, SNO
- **Атмосферные нейтрино:** NUSEX, Soudan-2, IMB, Kamiokande, Super-Kamiokande, BOREXINO, UNO, MACRO
- **Ускорители:** K2K, MINOS, OPERA

MINOS

(13 June 2008)

$$|\Delta m^2| = (2.43 \pm 0.13) \times 10^{-3} \text{ eV}^2 \text{ (68% C.L.)}$$

$$\sin^2(2\theta) > 0.90 \text{ (90% C.L.)}$$

KamLAND

(1 November 2004)

best-fit of KamLAND data $\Delta m^2 = 7.9^{+0.6}_{-0.5} \times 10^{-5} \text{ eV}^2$

best-fit of KamLAND + solar data $\Delta m^2 = 7.9^{+0.6}_{-0.5} \times 10^{-5} \text{ eV}^2$

$$\tan^2 \theta = 0.40^{+0.10}_{-0.07}$$



OPERA

Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus – эксперимент по прямому наблюдению осцилляций нейтрино $\nu_\mu \rightarrow \nu_\tau$.

Целью эксперимента OPERA является наблюдение осцилляций ν_μ в ν_τ в пучке ν_μ от ускорителя ЦЕРН посредством прямой регистрации τ -лептонов в ядерной эмульсии в подземной лаборатории Гран-Сассо.

12 стран, 33 института (5 российских)



The OPERA Collaboration

180 physicists, 33 institutions in 12 countries

Belgium

IIHE-ULB Brussels



Croatia

IRB Zagreb



France

LAPP Annecy

IPNL Lyon

IPHC Strasbourg



Germany

Hamburg

Münster

Rostock



Israel

Technion Haifa



Italy

Bari

Bologna

LNF Frascati

L'Aquila,

LNGS

Naples

Padova

Rome

Salerno



Russia

INR RAS Moscow

LPI RAS Moscow

ITEP Moscow

SINP MSU Moscow

JINR Dubna



Switzerland

Bern

ETH Zurich



Tunisia

CNSTN Tunis



Turkey

METU Ankara



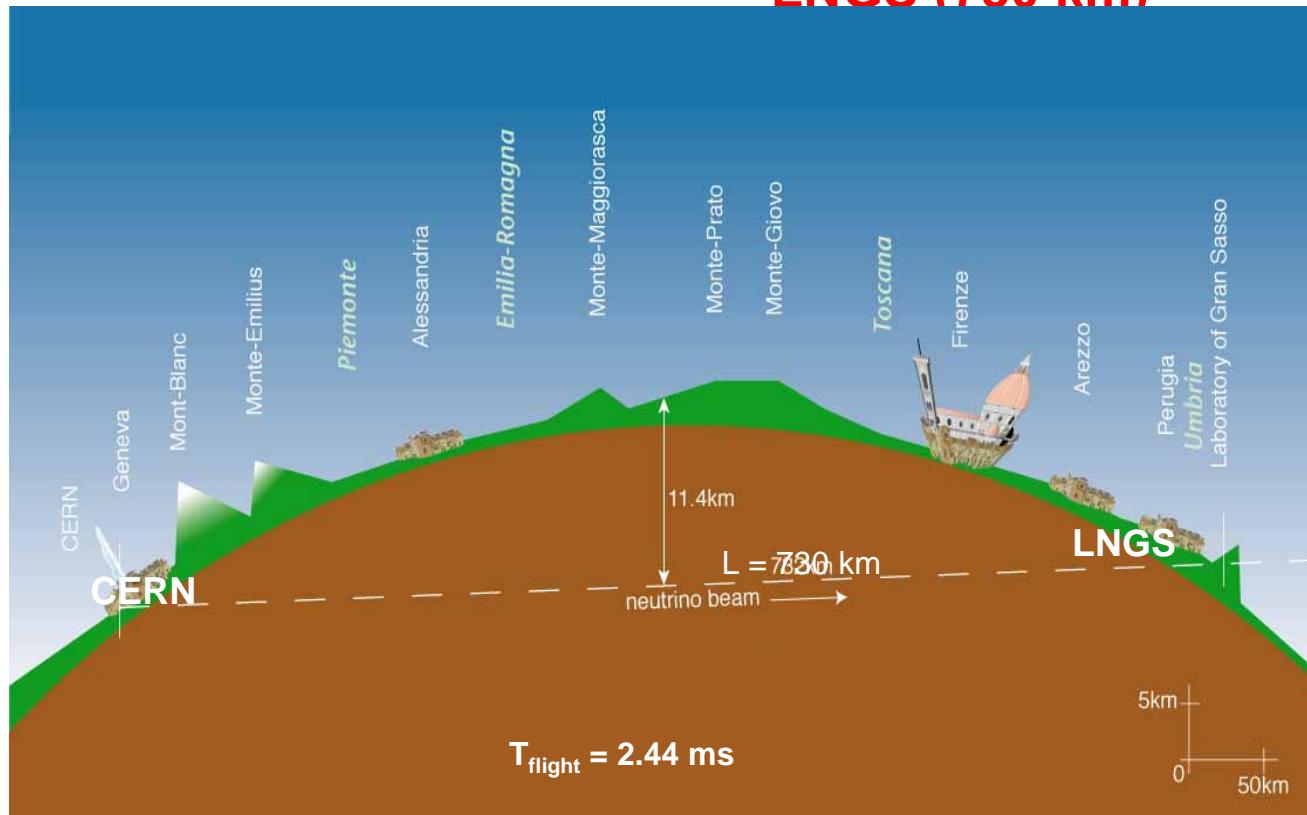
<http://operaweb.web.cern.ch/operaweb/index.shtml>

CNGS-

 μ

CERN

LNGS (730 km)



$\langle E \rangle$	17 GeV
L	730 km
$(\nu_e + \bar{\nu}_e) / \nu_\mu (\text{CC})$	0.87%
$\nu_\mu / \bar{\nu}_\mu (\text{CC})$	2.1%
ν_τ прямые	negligible

Регистрация взаимодействий в детекторе OPERA. Регистрация тау-лептонов в ядерной эмульсии .

Ожидаемое число взаимодействий для $22.5 \times 10^{19} \text{ pot}$:

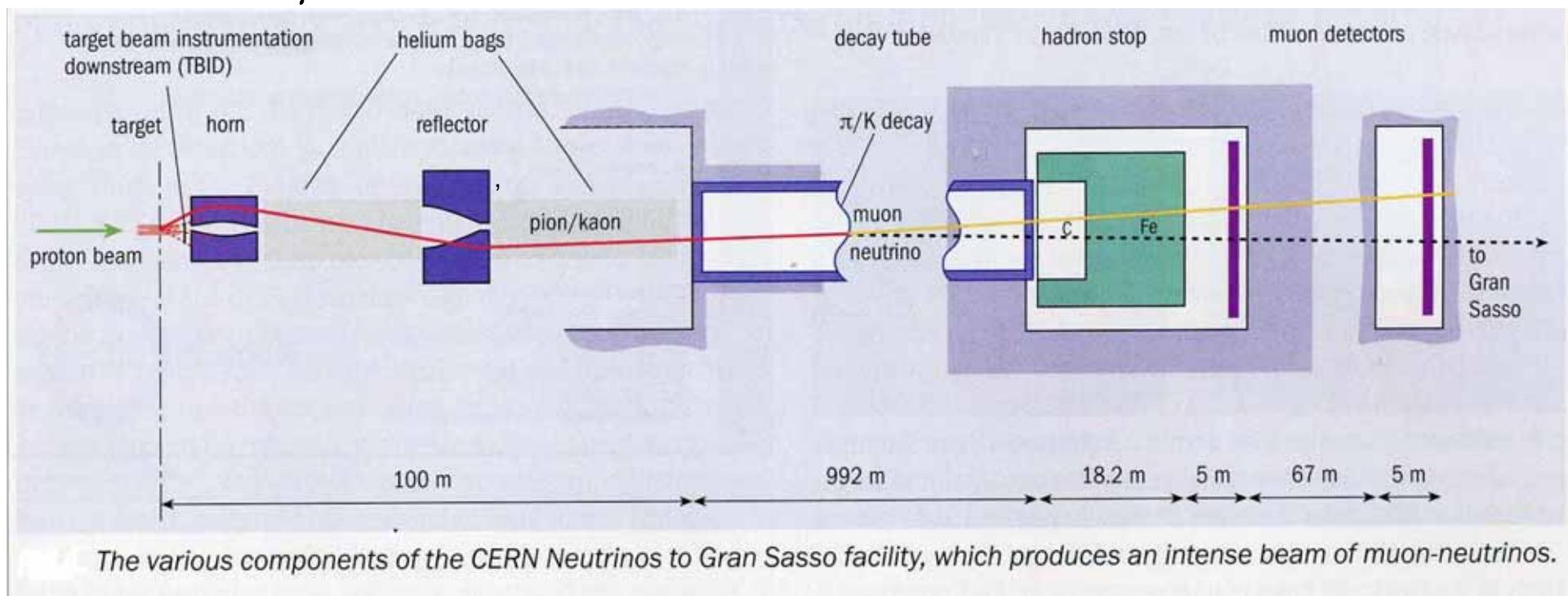
- ~ 23600 $\bar{\nu}_\mu$ CC + NC
- ~ 160 $\nu_e + \bar{\nu}_e$ CC
- ~ 115 ν_τ CC ($\Delta m^2 = 2.5 \times 10^{-3} \text{ eV}^2$)



Интенсивность нейтринного пучка в лаборатории Gran Sasso приблизительно $4.49 \times 10^{-9} \text{ м}^{-2}$ на 1 падающий на мишень протон ($\sim 10^{17}$ протонов в сутки), поперечный размер – около 800 м, средняя энергия ~ 17 ГэВ

Пучок в основном состоит из ν_μ

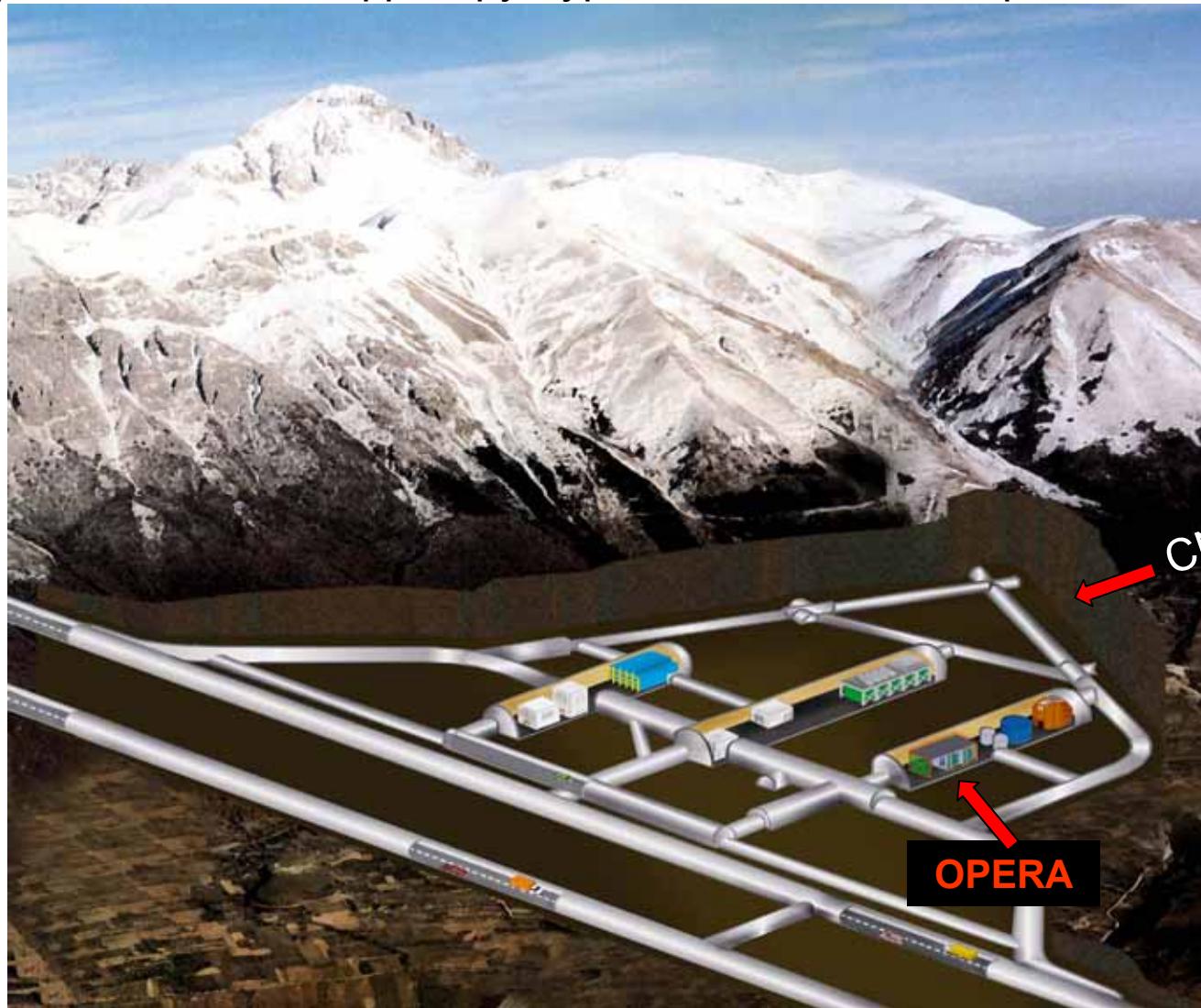
Примесь $\bar{\nu}_\mu$ - 2%, ν_e - 1%



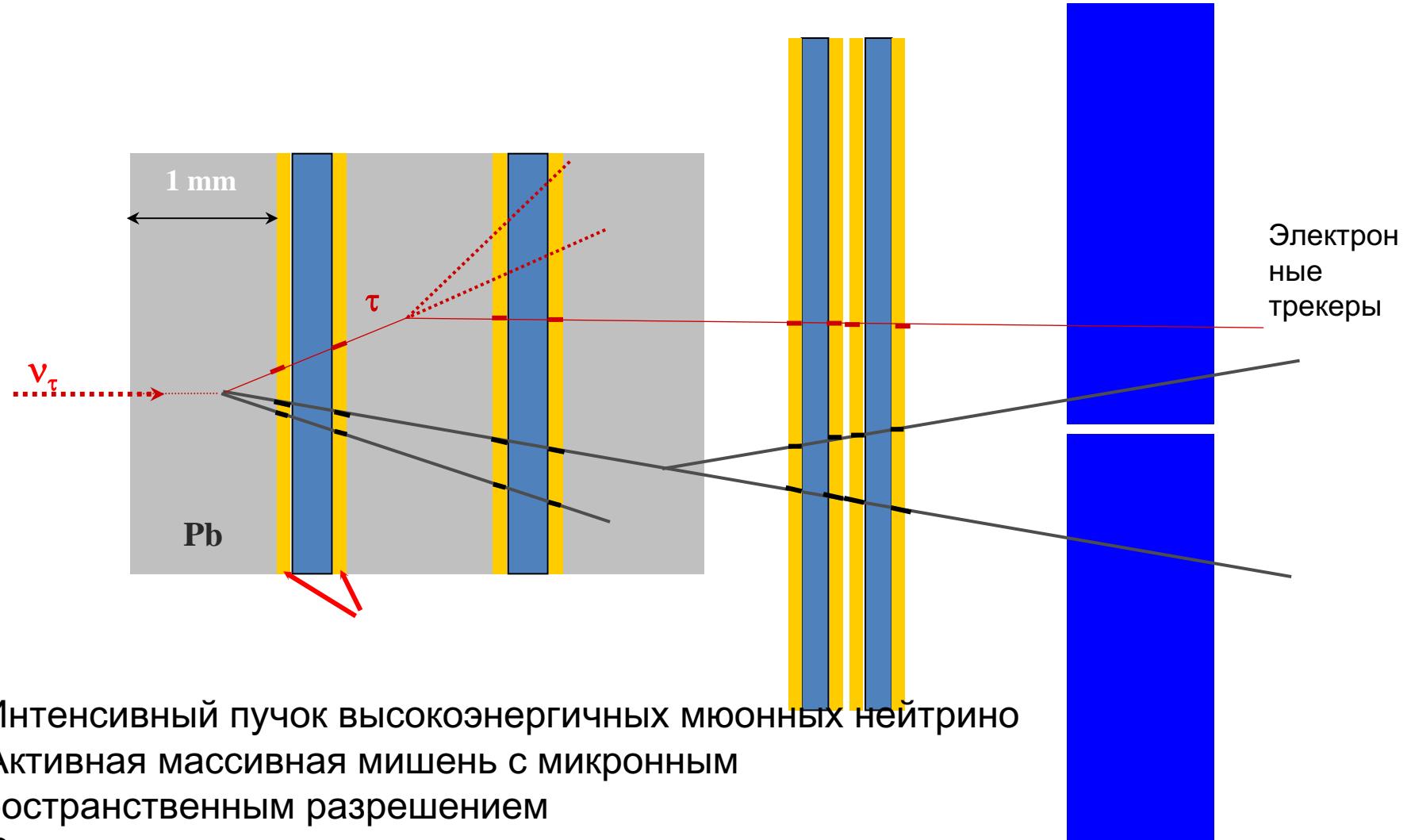
LNGS (INFN),

:

~180'000 m³ объем подз. помещ., ~3'100 м.в.е. глубина, ~1 cosmic μ / m² x час,
экспериментальная инфраструктура, множество экспериментов., залы

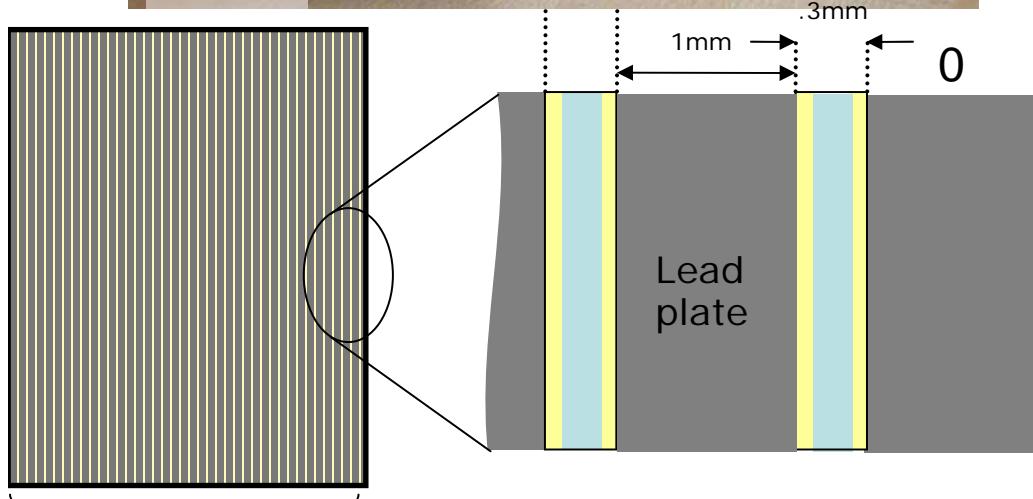
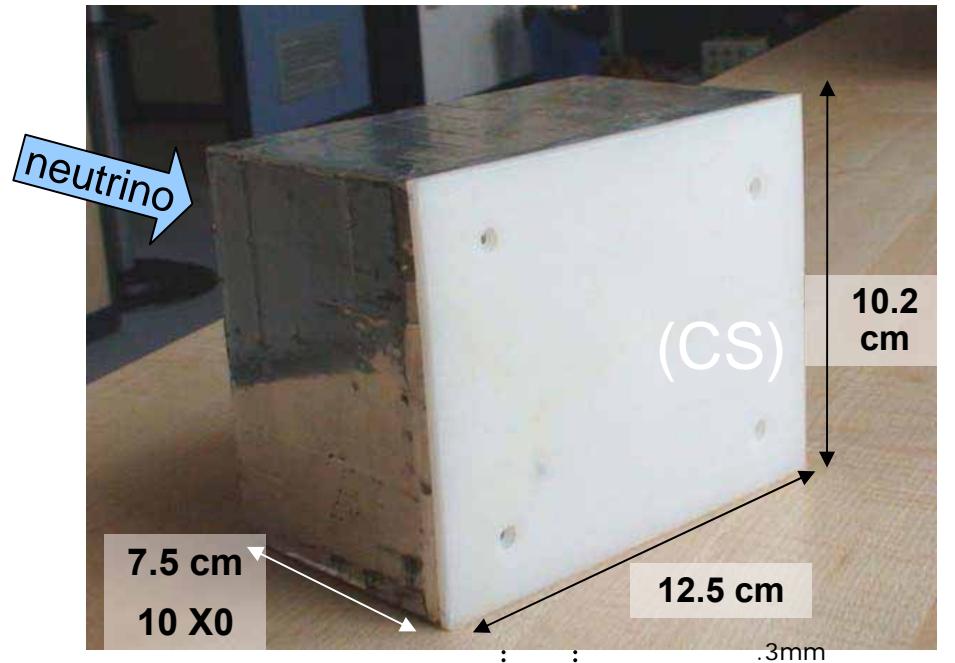


Основной принцип: ЕСС + ЭЛЕКТРОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ

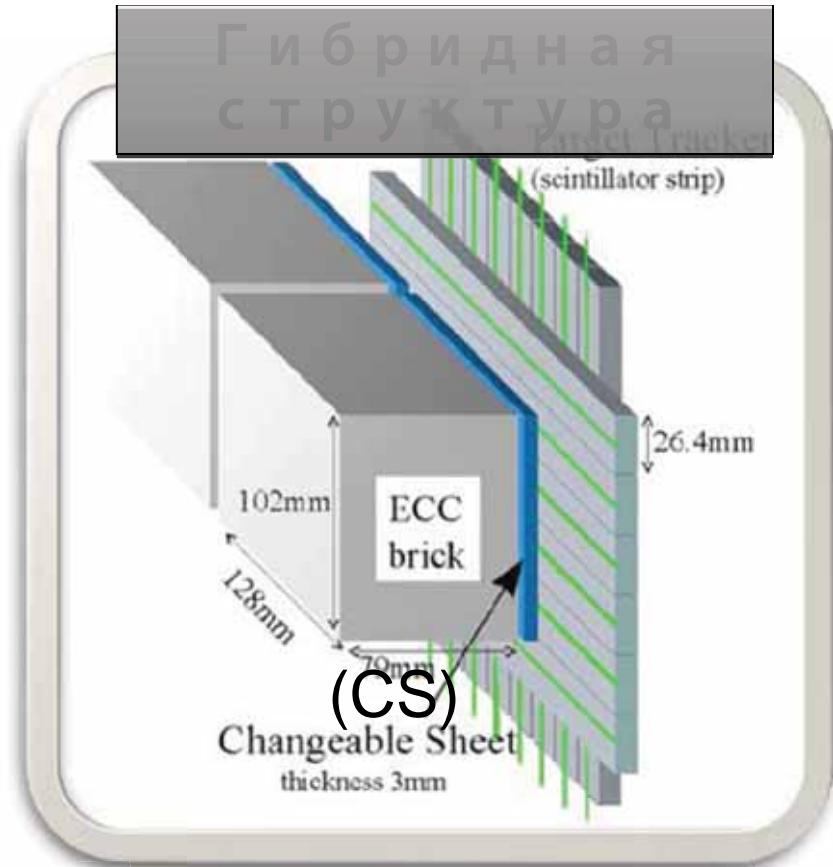


- Интенсивный пучок высокоэнергичных мюонных нейтрино
- Активная массивная мишень с микронным пространственным разрешением
- Регистрация появления т-лептона и его распада
- Использование электронных детекторов для временной привязки к эмульсионному детектору и определение места взаимодействия нейтрино

ОСНОВА: ЕСС мишенный блок



57 OPERA films, 56 lead plates



Мишень состоит из 150'000 ECC блоков

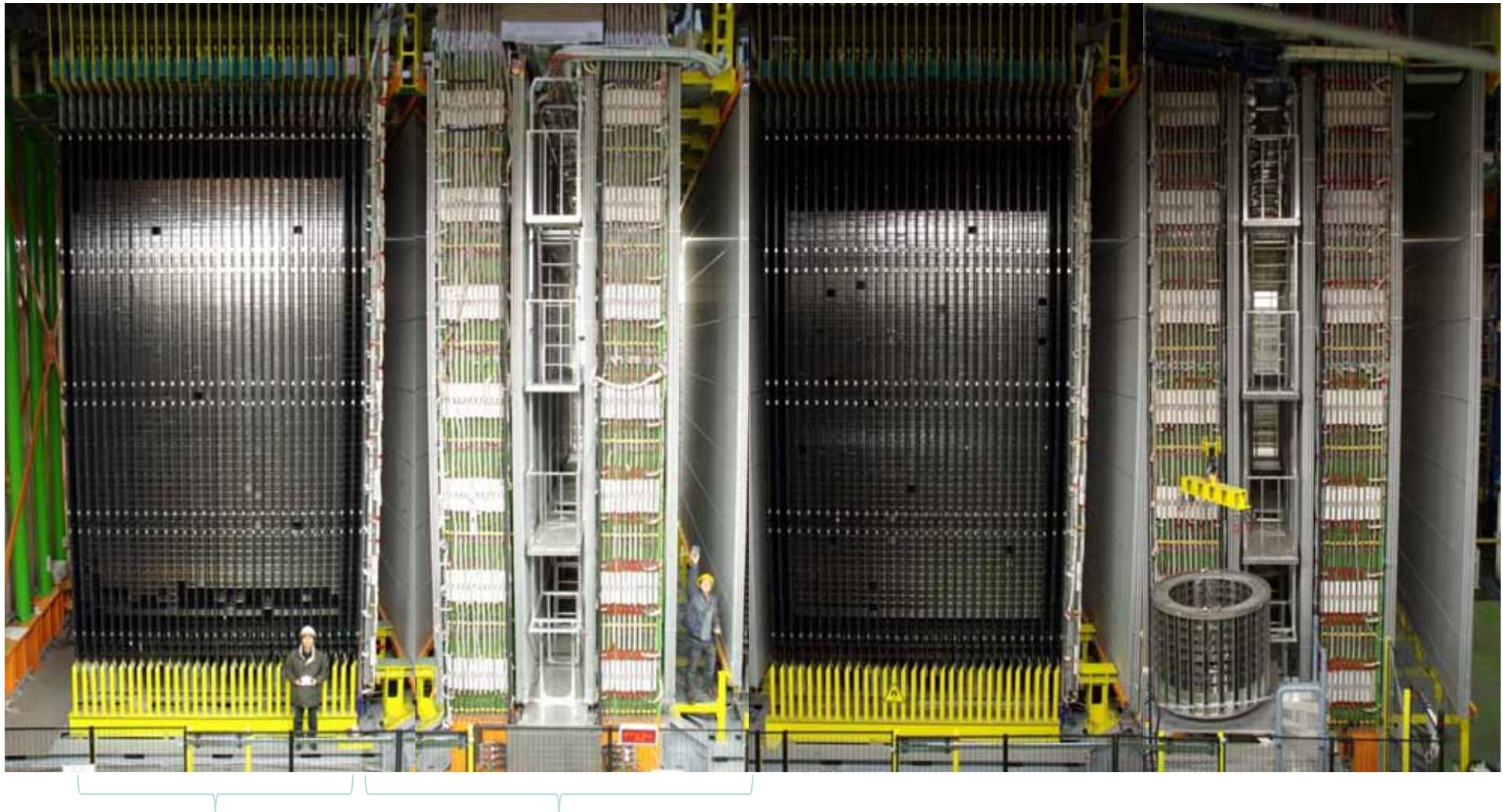
Поверхность свинца 105'000 m²
поверхность эмульсии 111'000 m²
(~ 8.9 x 10⁶ слоев)

Масса мишени: 1.25 x 10³т

Экспериментальная установка

SM1

SM2

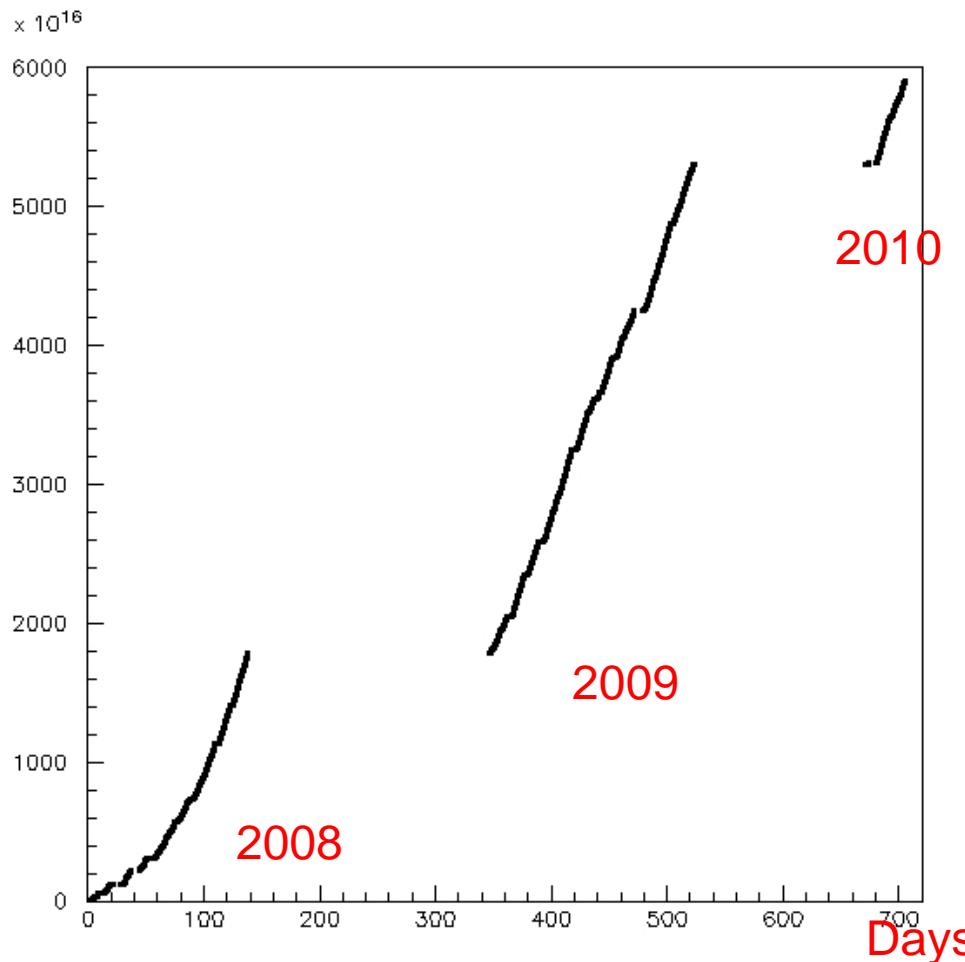




29.07.2009 17:28

Работа пучка CNGS

2006	0.076×10^{19} pot	Элект. д-ры	Тестирование
2007	0.082×10^{19} pot	38 событий.	Тестирование
2008	1.78×10^{19} pot	1698 .	First physics run
2009	3.52×10^{19} pot	3693 .	Physics run
2010	1.52×10^{19} pot	1614 .	Physics run



7043 событий зарегистрировано на 5 июля 2010 (с точностью до 1σ согласуется с проектом)

Достигнута высокая эффективность CNGS (97% в 2008-2009)

2010: близок к нормативу;

Цель: обеспечить стабильно высокую интенсивность в 2011 и 2012 гг.

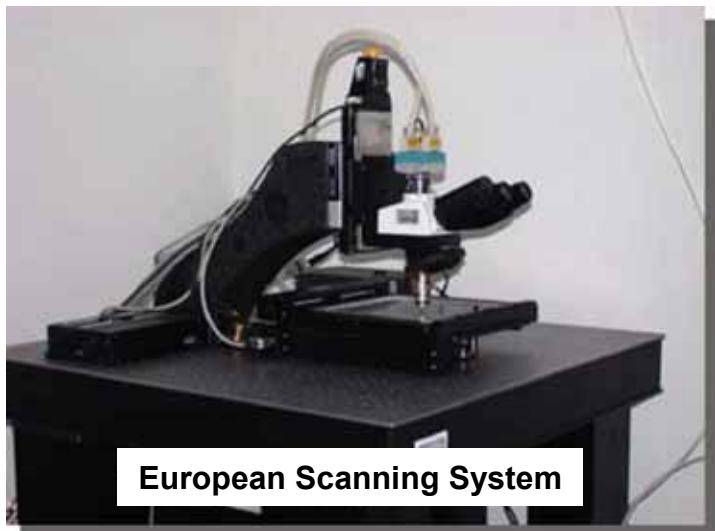


CHANGEABLE SHEET SCANNING STATIONS

LNGS



Nagoya



European Scanning System

High speed automatic
microscopes:

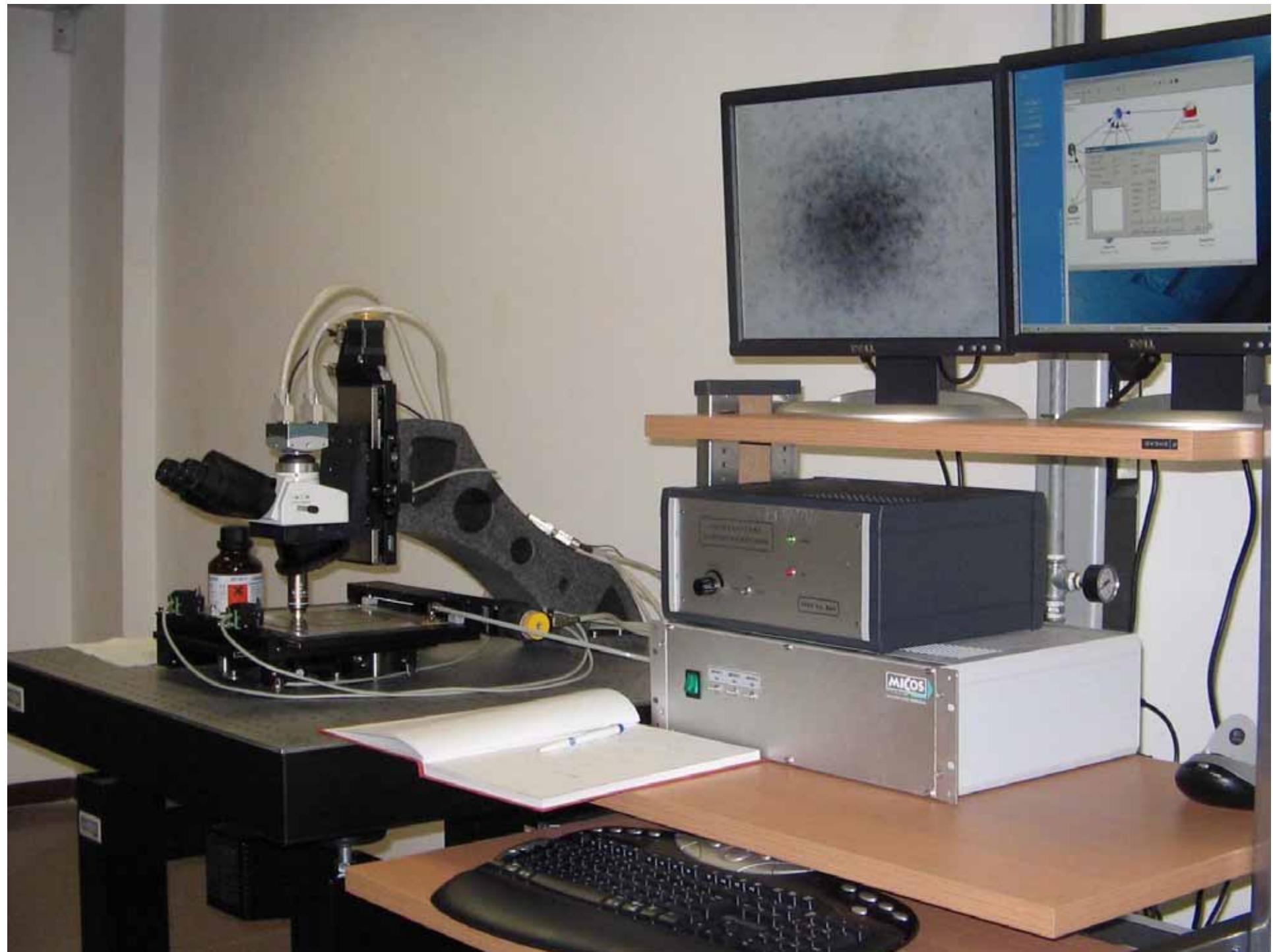
~ 200 cm² emulsion film
surface/hour/facility

Based on state of the art
technologies:

precision mechanics,
stepping motors, CCD
readout, pattern recognition,
image analysis,...



Super-UltraTrack Selector 55
(Japan)





- 6 автоматических линий для проявки
- максимальная скорость: 150 кирпичей/неделю
- дополнительная лаборатория для проявки CS: max 300 CS/неделю





сканирование в 12
лабораториях







22.12.2009 13:50



При обработке эмульсий выделяют
следующие основные типы событий:

Таблица 1

1	СС взаимодействие ν_μ (обмен W^\pm бозоном)	$\nu_\mu N \rightarrow \mu^- X$
2	NC взаимодействие нейтрино (обмен Z^0 бозоном)	$\nu N \rightarrow \nu X$
3	СС взаимодействие ν_e	$\nu_e N \rightarrow e^- X$
4	Взаимодействия с образованием чармированных частиц.	$\nu_\mu N \rightarrow c\mu X$ $\nu_\mu N \rightarrow c\bar{c}\mu X$
5	СС взаимодействие ν_τ	$\nu_\tau N \rightarrow \tau^- X$

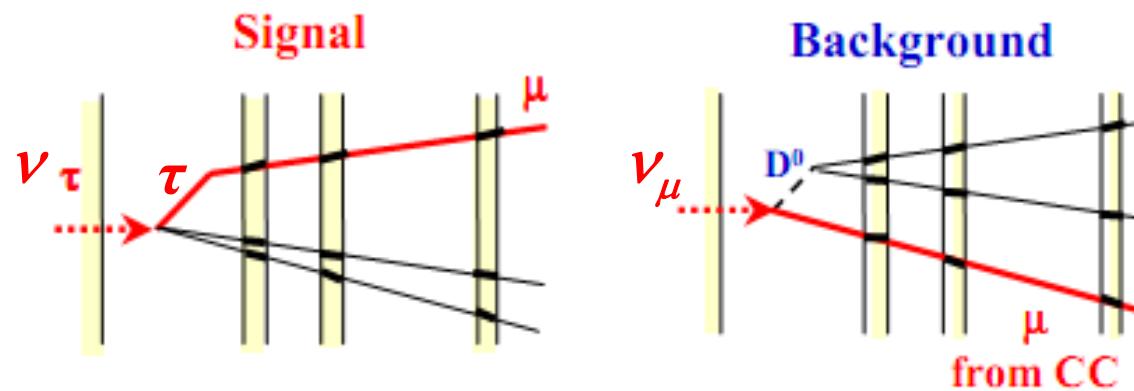
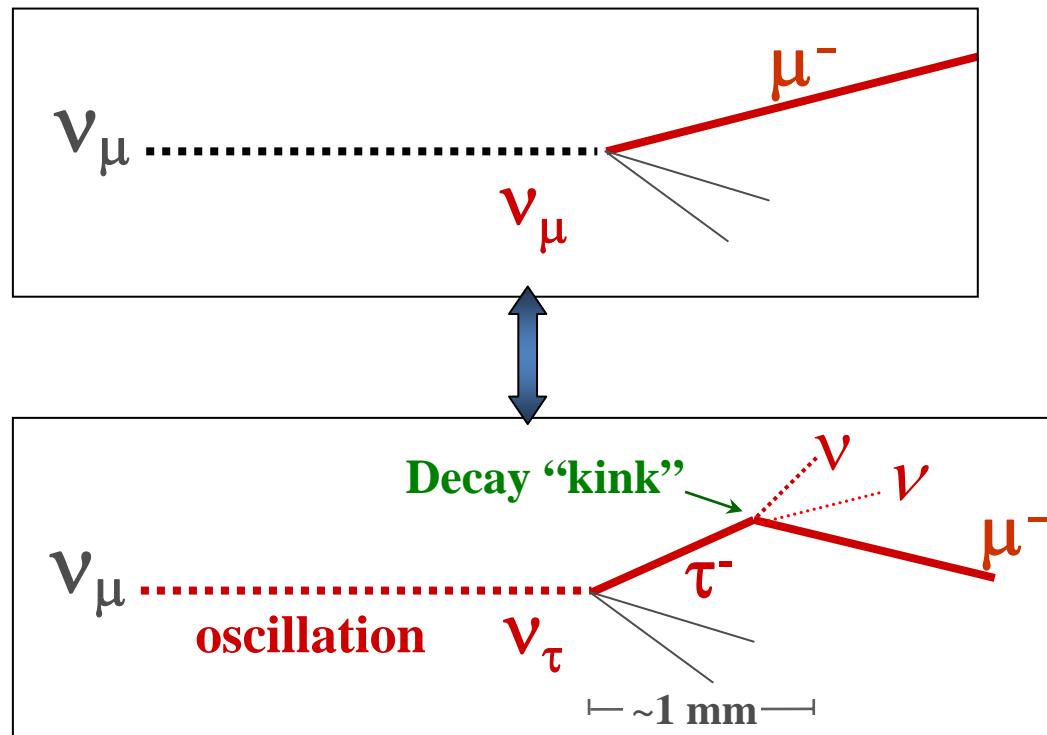
Основной целью проекта OPERA является выделение событий пятого типа.

Время жизни τ -лептона $2.9 \cdot 10^{-13}$ с . Основные каналы распада:

$$\tau^- \rightarrow e^- \nu_\tau \bar{\nu}_e X \quad \tau^- \rightarrow \mu^- \nu_\tau \bar{\nu}_\mu X \quad \tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau (n\pi^0)$$

Вероятности распадов равны :

17.8%, 17.7% , 49.5%.



Эффективность обнаружения взаимодействия
вместе с поиском вершины: **60%**

Полное число найденных вершин: **1617**

Число событий, для которых осуществлен поиск
точки распада: **1088 (187 NC)**

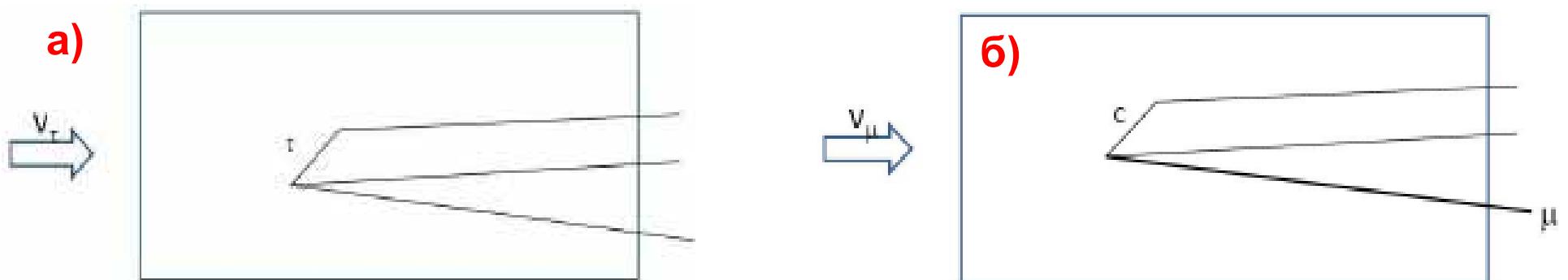
Это составляет **~35%** от полной статистики 2008-
2009 сеансов и соответствует **1.85×10^{19} pot**

С учетом статистики для $\Delta m^2_{23} = 2.5 \times 10^{-3}$ eV² и
полного смешивания, OPERA ожидает:
 $\sim 0.5 v_\tau$ событий

КРИТЕРИИ ОТБОРА

Для выделения осцилляционных событий разрабатываются критерии отбора. Проводится М-К моделирование с использованием кодов OpRelease, FLUKA, FEDRA.

Часть взаимодействий ν_μ происходит с образованием короткоживущих чармированных адронов, эти фоновые события по интенсивности превосходят полезный сигнал ν_τ в ~ 20 раз..



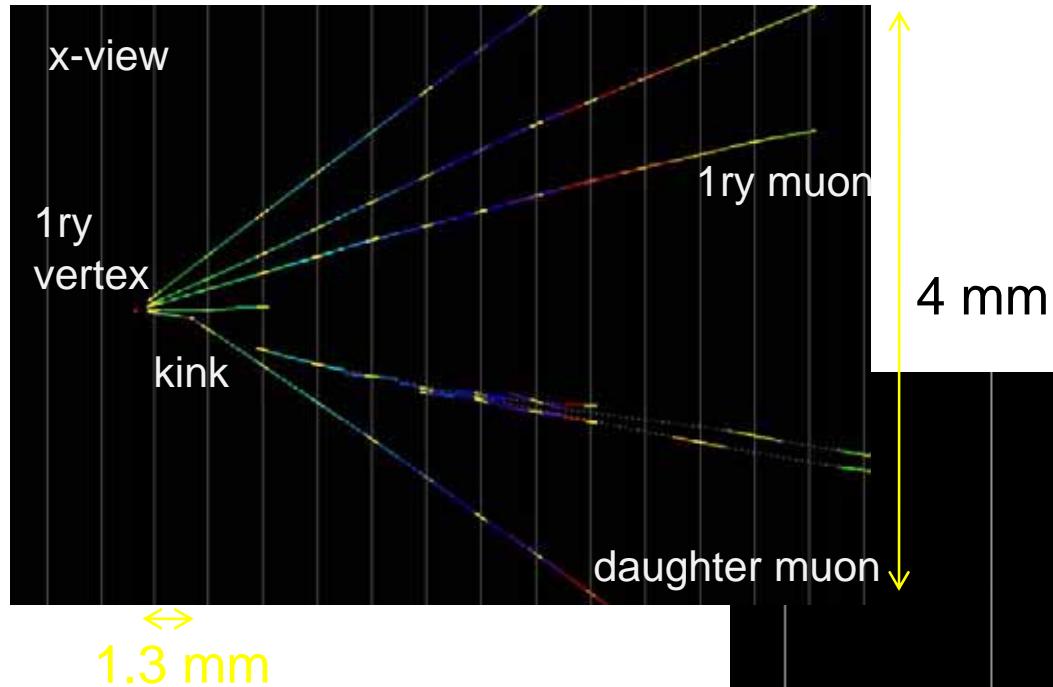
Топология осцилляционного (а) и фонового (б) событий

Многомерные критерии отбора МН/MN-12

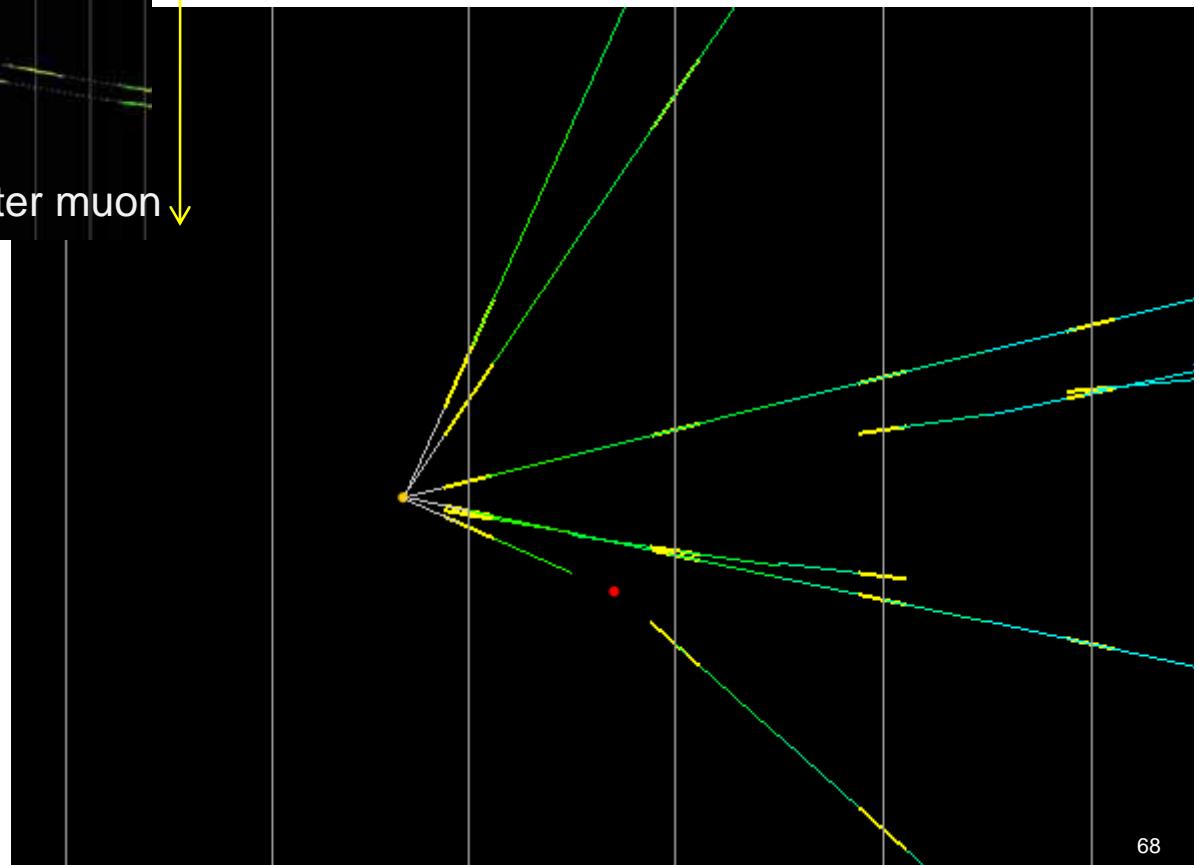
Анализ данных, набранных в эксперименте OPERA в сеансах 2007-2009, показал, что **можно выделить** события с характерными для распадных процессов топологиями на преобладающем в сотни раз фоне взаимодействий мюонных нейтрино.

Найдено **20** кандидатов на взаимодействие нейтрино с рождением **чармированных** адронов.

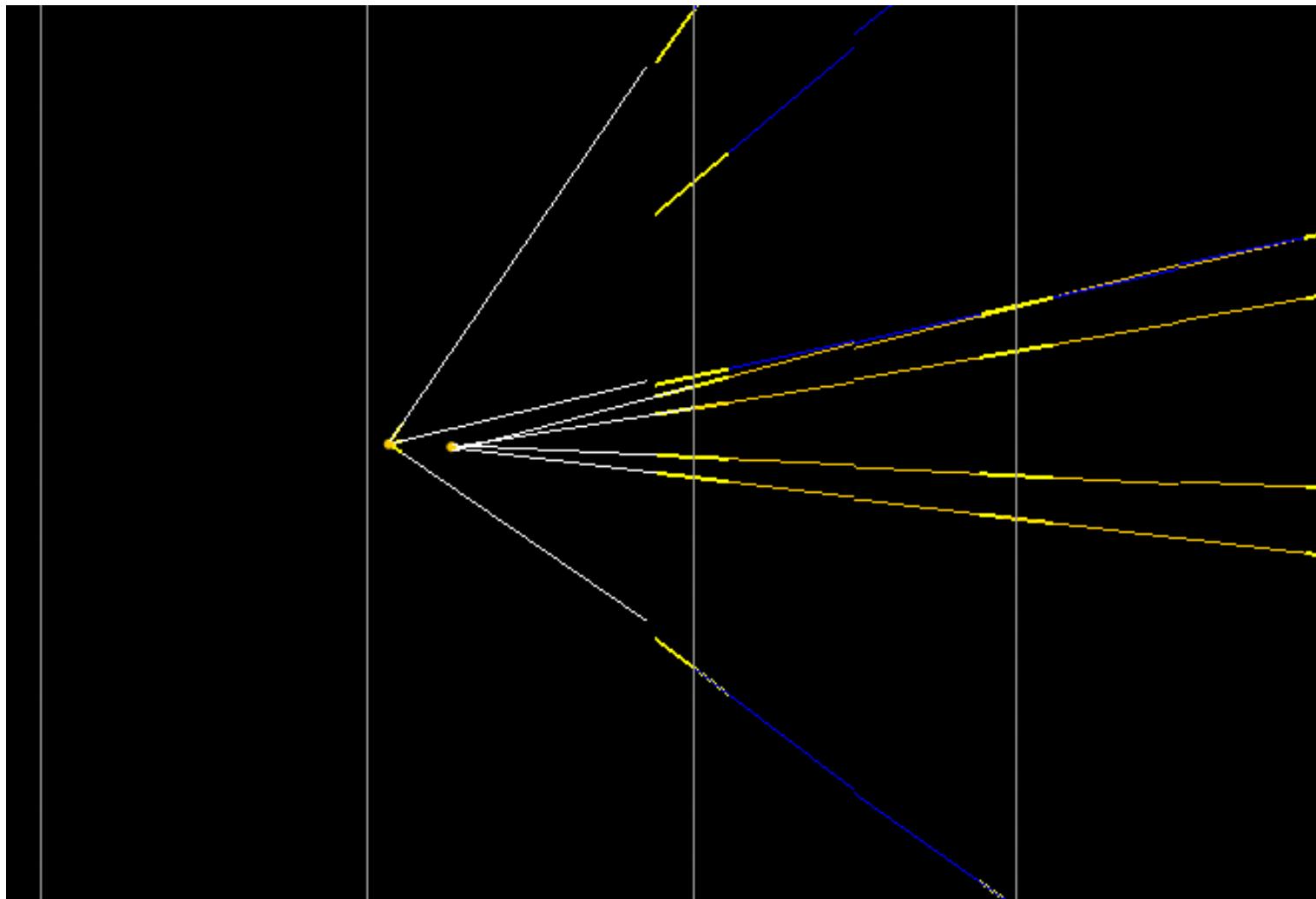
Charm candidate event (dimuon)



flight length: 1330 microns
kink angle: 209 mrad
IP of daughter: 262 microns
daughter muon: 2.2 GeV/c
decay Pt: 0.46 GeV/c

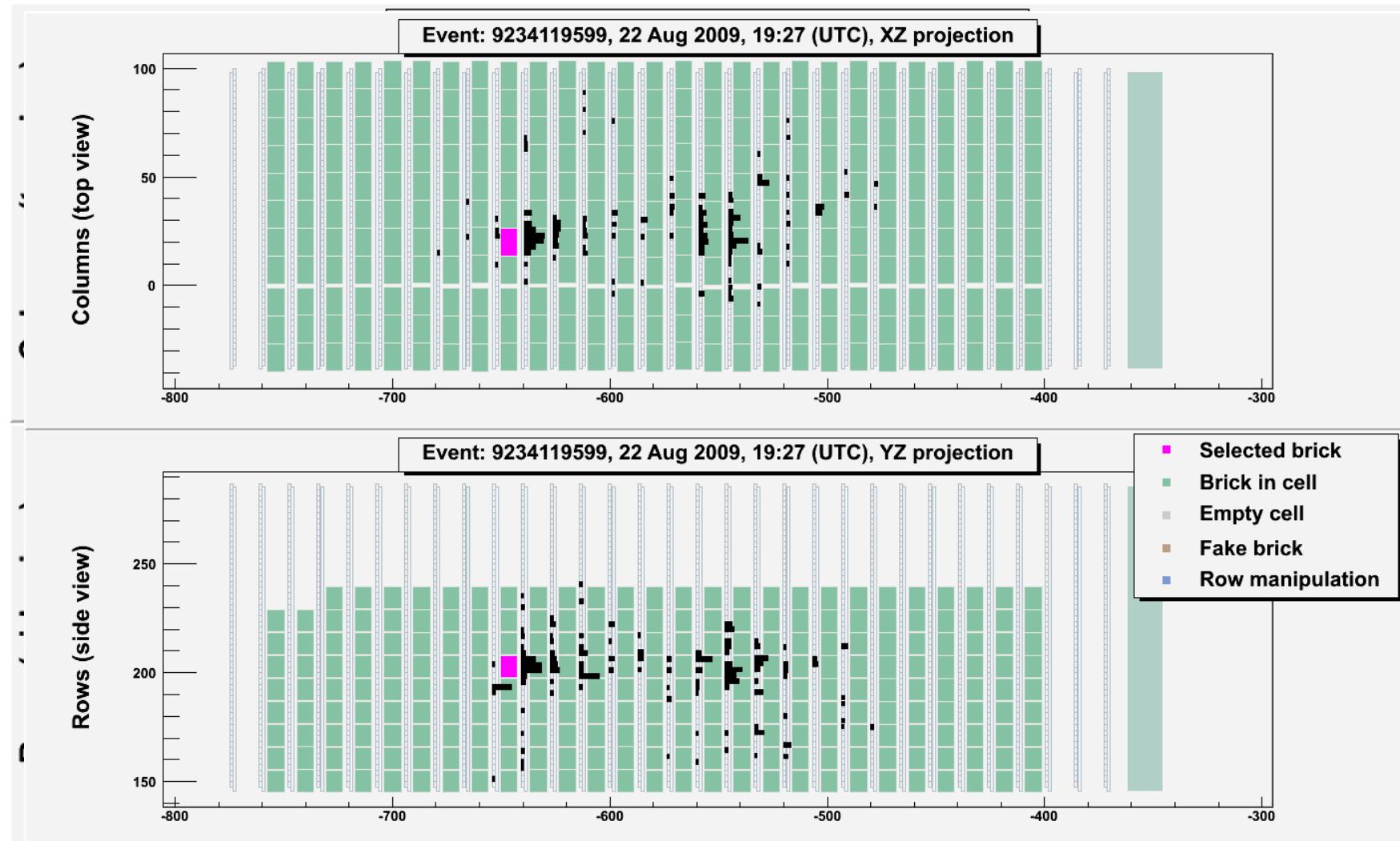


Charm candidate event (4-prong)



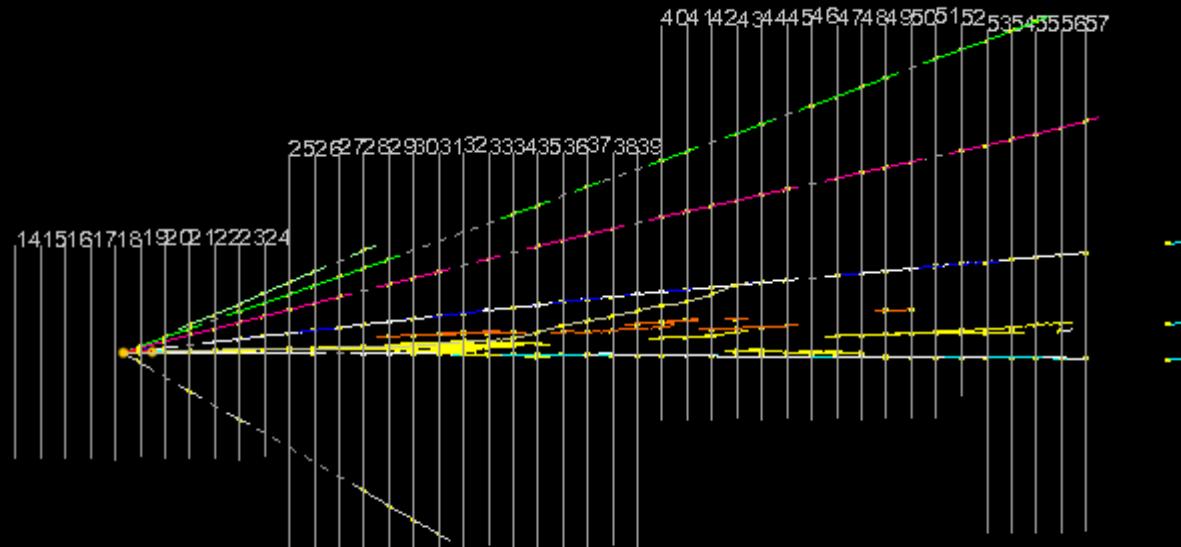
D_0 hypothesis: F.L.: 313.1 μm , $\phi : 173.2^\circ$, invariant mass: 1.7 GeV

Первый кандидат !!!
Событие(мюона нет) 9234119599, 22.08.2009, 19:27
(электронные детекторы)

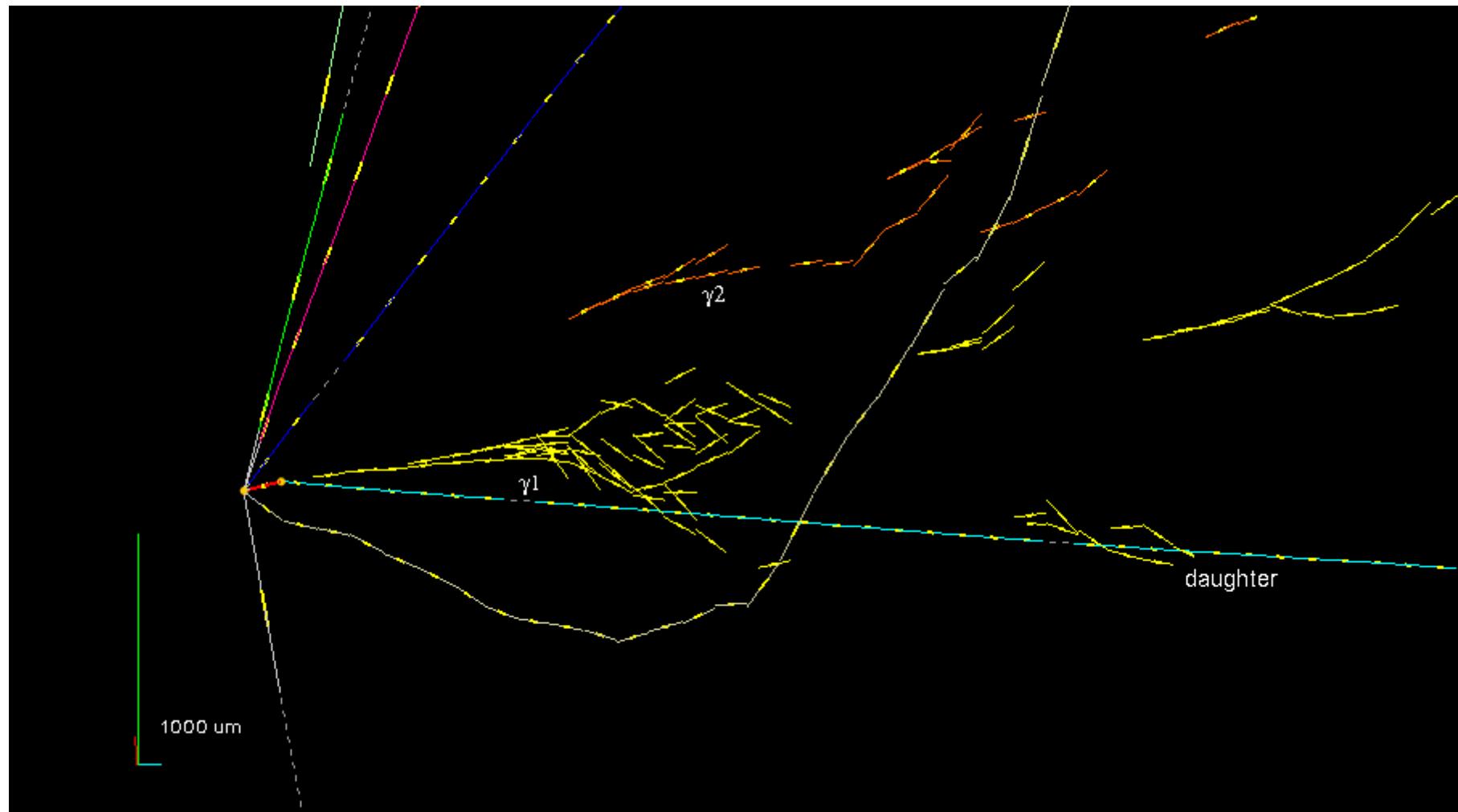


Локализация вершины

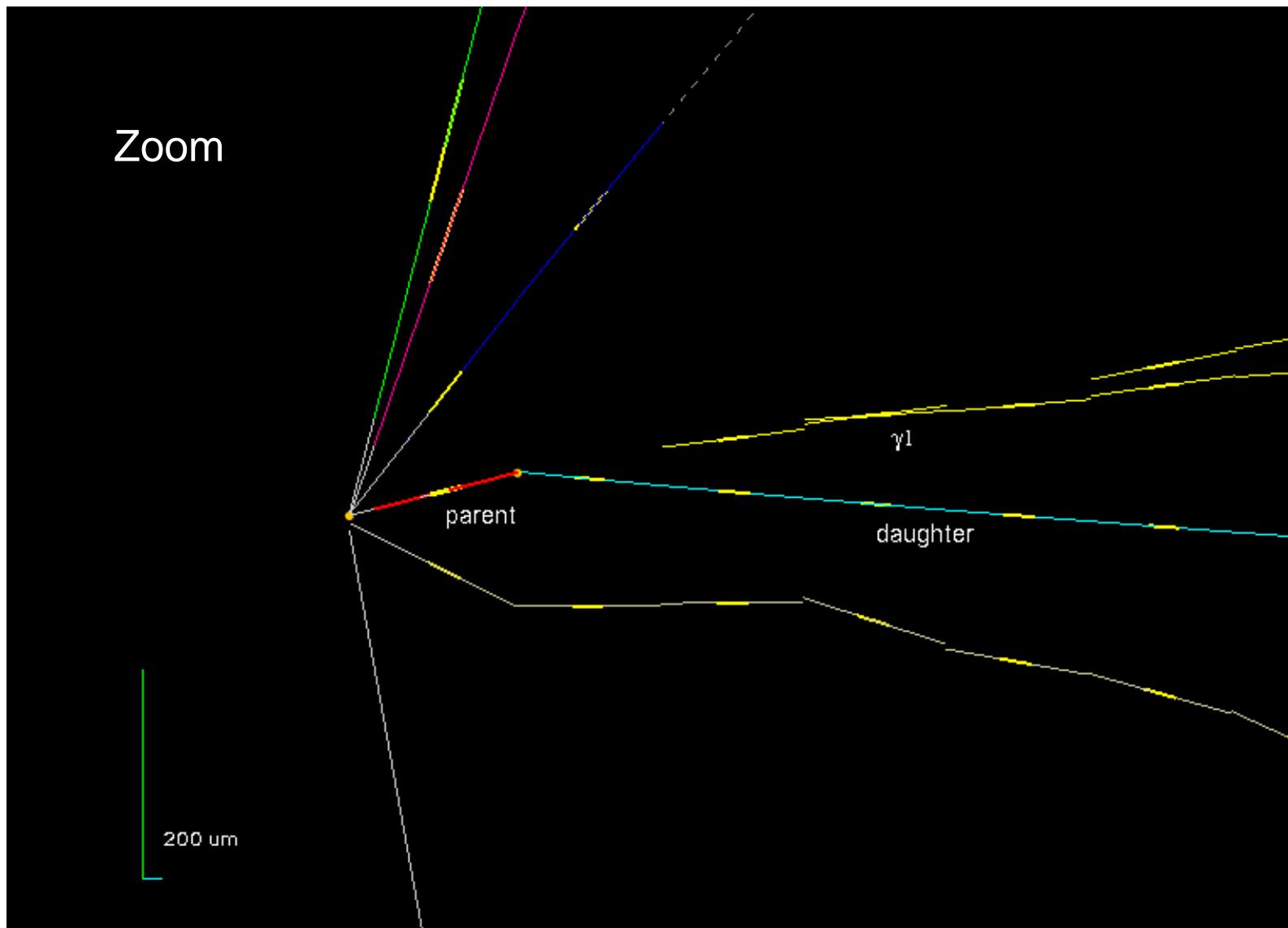
Сканирование большой площади
Полная реконструкция адронов и гамма-
квантов



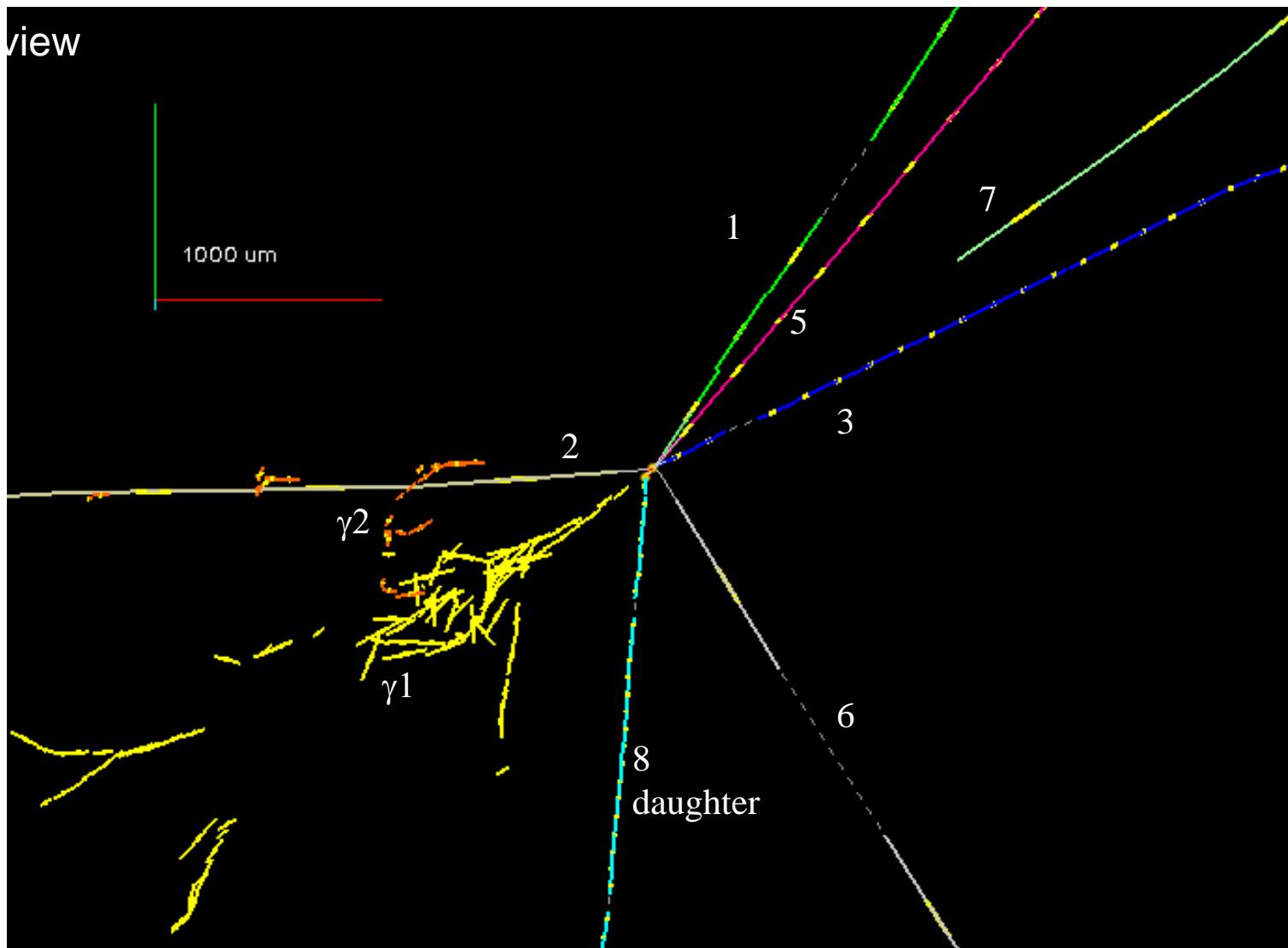
Реконструкция события (1)



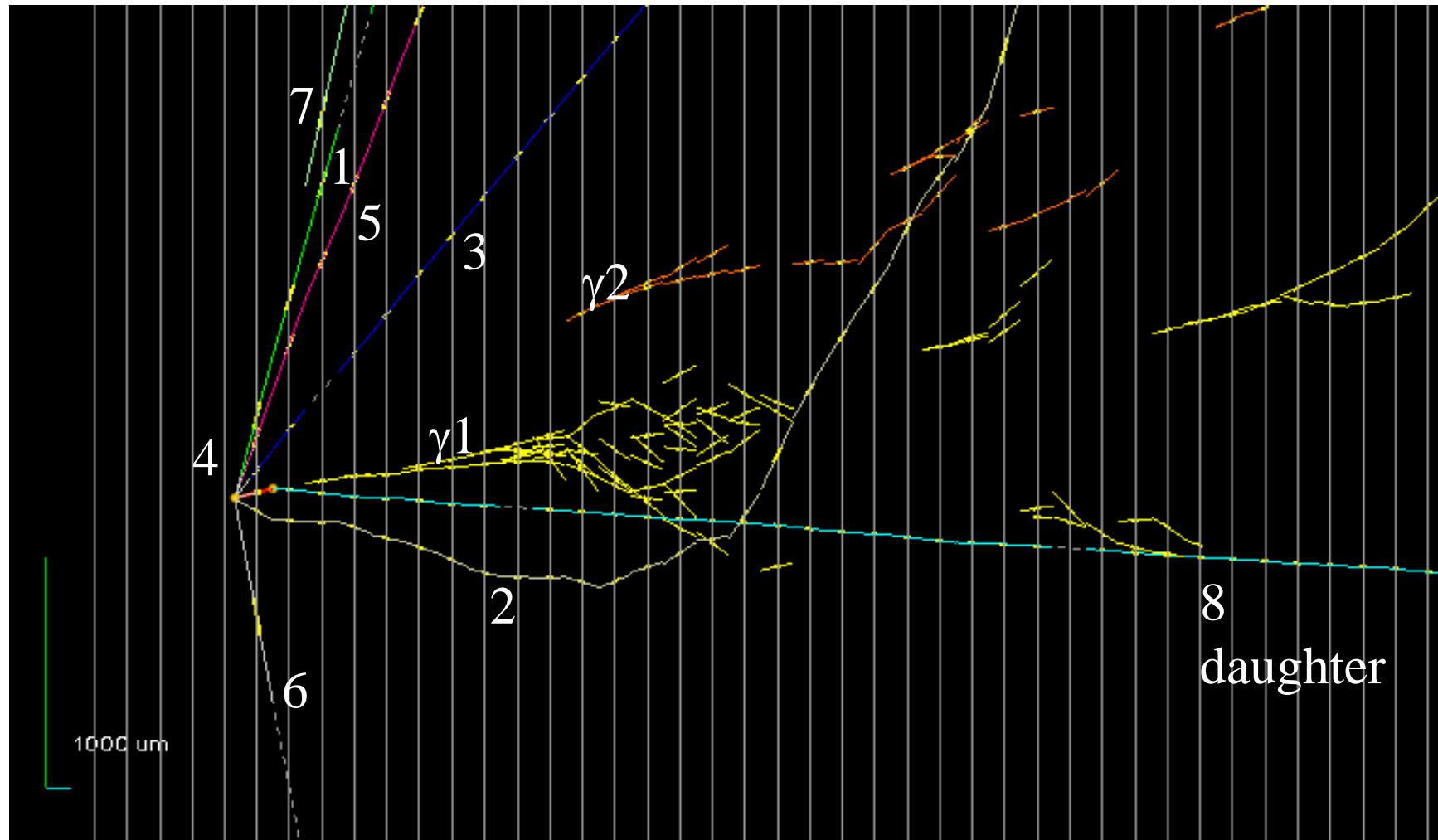
Реконструкция события (2)

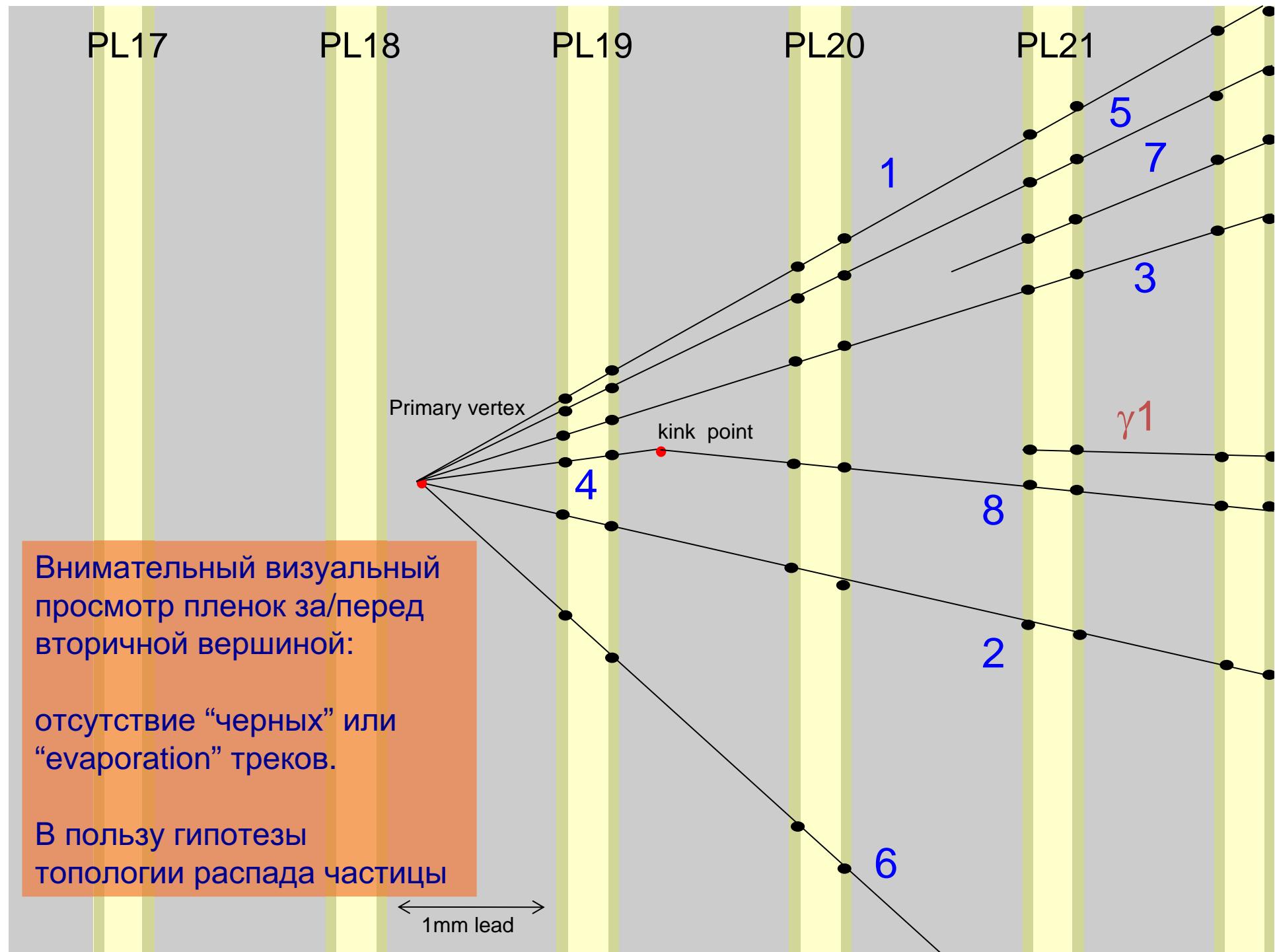


Особенности топологии (1)



Особенности топологии (2)





Характеристики треков

TRACK NUMBER	PID	Probability	MEASUREMENT 1			MEASUREMENT 2		
			$\tan \Theta_x$	$\tan \Theta_y$	P (GeV/c)	$\tan \Theta_x$	$\tan \Theta_y$	P (GeV/c)
1	HADRON range in Pb/emul=4.1/1.2 cm	$\text{Prob}(\mu) \approx 10^{-3}$	0.177	0.368	0.77 [0.66,0.93]	0.175	0.357	0.80 [0.65,1.05]
2	PROTON	range, scattering and dE/dx	-0.646	-0.001	0.60 [0.55,0.65]	-0.653	0.001	
3	HADRON	interaction seen	0.105	0.113	2.16 [1.80,2.69]	0.110	0.113	1.71 [1.42,2.15]
4 (PARENT)			-0.023	0.026		-0.030	0.018	
5	HADRON: range in Pb/emul=9.5/2.8 cm	$\text{Prob}(\mu) \approx 10^{-3}$	0.165	0.275	1.33 [1.13,1.61]	0.149	0.259	1.23 [0.98,1.64]
6	HADRON: range in Pb/emul=1.6/0.5 cm	$\text{Prob}(\mu) \approx 10^{-3}$				0.334	-0.584	0.36 [0.27,0.54]
7	From a prompt neutral particle		0.430	0.419	0.34 [0.22,0.69]	0.445	0.419	0.58 [0.39,1.16]
8 (DAUGHTER)	HADRON	interaction seen	-0.004	-0.008	12 [9,18]	-0.009	-0.020	

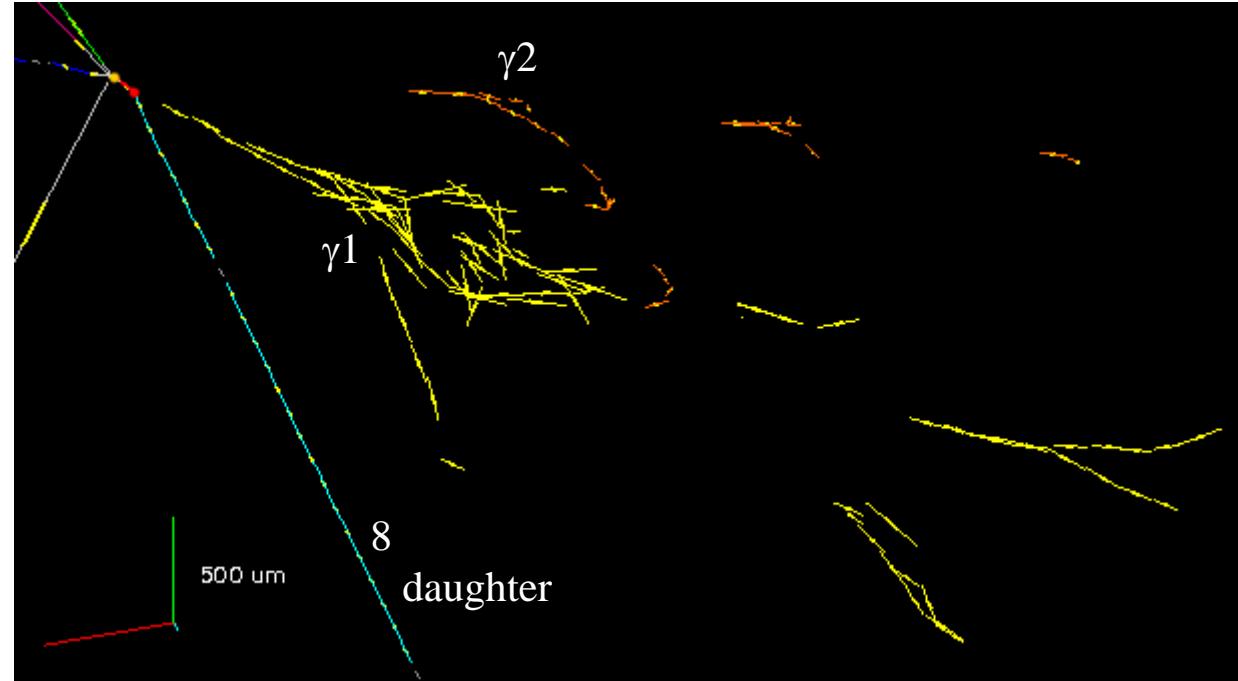
безмюонное событие (основная гипотеза)

АНАЛИЗ

Стандартный подход эксперимента OPERA использовался при анализе события - кандидата на адронный распад таона:

- kink имеет место внутри 2-х слоев свинцовых пластин, расположенных глубже вершины первичного взаимодействия
- kink angle больше 20 mrad
- импульс «дочерней» частицы $> 2 \text{ GeV/c}$
- поперечный импульс «дочерней» частицы $\text{Pt} > 600 \text{ MeV/c}, 300 \text{ MeV/c}$, если 1 гамма-квант может быть отнесен к точке распада
- недостающий Pt в точке первичного взаимодействия $\leq 1 \text{ GeV/c}$
- азимутальный угол между направлением результирующего импульса адронов и направлением трека «parent» частицы $> \pi/2 \text{ rad}$

регистрация γ

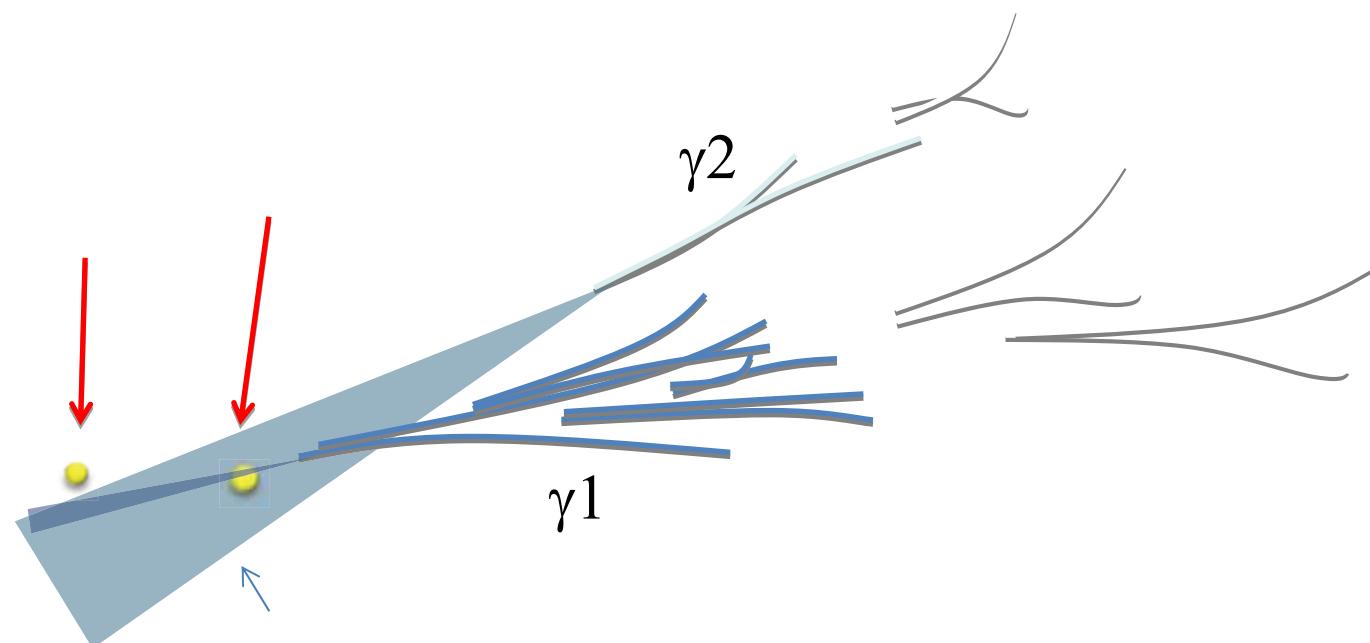


- полная радиационная длина : $6.5 X_0$
- поиск γ -квантов выполнялся во всем сканированном объеме
- тщательная визуальная проверка

	Distance from 2ry vertex (mm)	Energy (GeV)
1 st γ	2.2	$5.6 \pm 1.0 \pm 1.7$
2 nd γ	12.6	$1.2 \pm 0.4 \pm 0.4$

«ПРИВЯЗКА» γ -КВАНТОВ К ВЕРШИНАМ

	Distance from 2ry vertex (mm)	IP to 1ry vertex (μm) <resolution>	IP to 2ry vertex (μm) <resolution>	Prob. of attach. to 1ry vtx*	Prob. of attach. to 2ry vtx*	Attachment hypothesis
1 st γ	2.2	45.0 <11>	7.5 <7>	<10 ⁻³	0.32	2ry vertex
2 nd γ	12.6	85.6 <56>	22 <50>	0.10	0.82	2ry vertex (favored)



Кинематические переменные

- Кинематические переменные определялись усреднением двух наборов измерений параметров треков
- Предполагалось, что:
 γ_1 и γ_2 относятся ко 2ой вершине

VARIABLE	AVERAGE
kink (mrad)	41 ± 2
decay length (μm)	1335 ± 35
P_{daughter} (GeV/c)	12^{+6}_{-3}
$P_{\text{t daughter}}$ (MeV/c)	470^{+230}_{-120}
missing P_{t} (MeV/c)	570^{+320}_{-170}
φ (deg)	173 ± 2

Средние значения использовались в дальнейшем кинематическом анализе

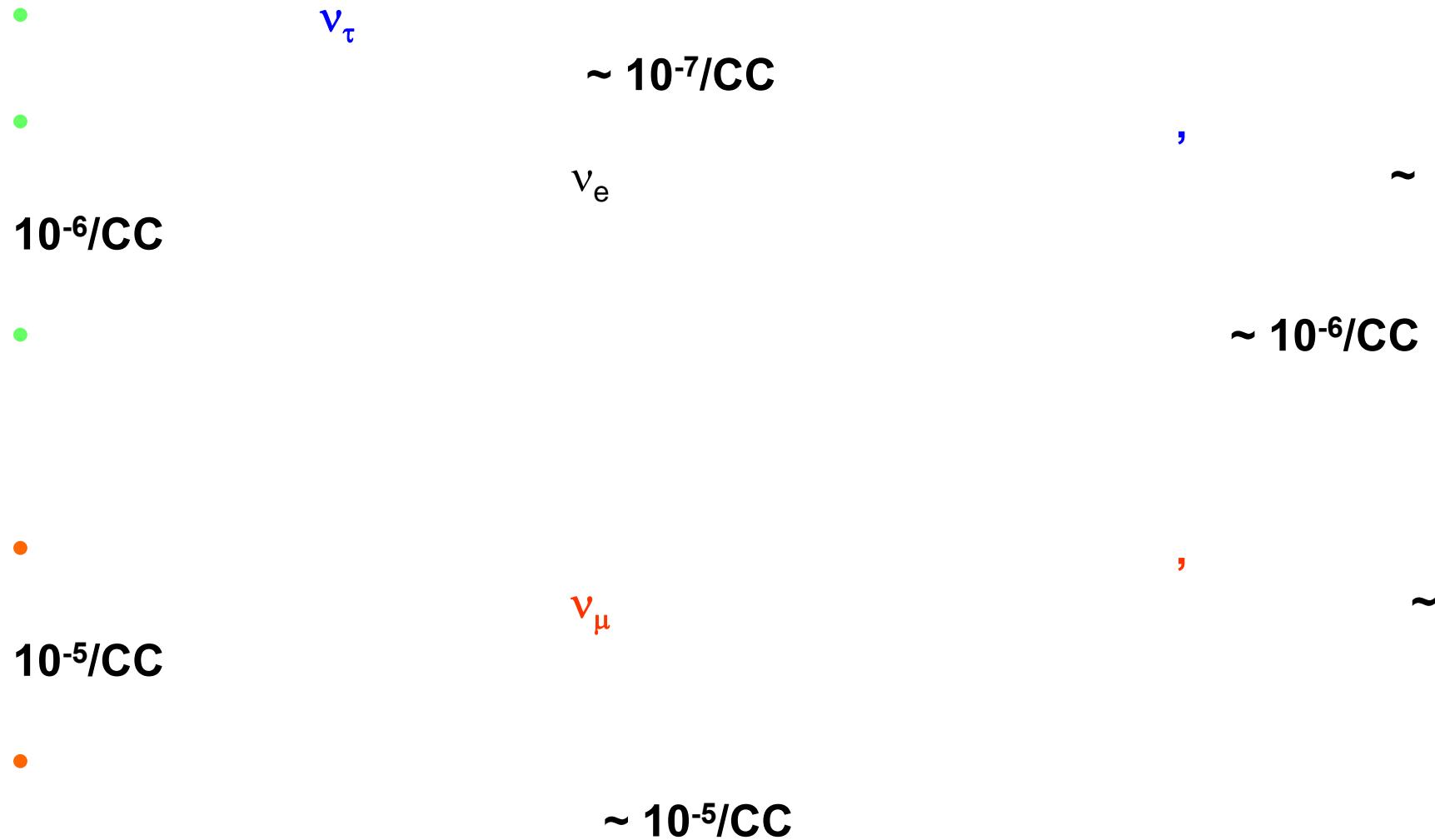
Неопределенность P_{t} из-за неопределенности привязки $\gamma_2 < 50$ MeV

Природа события и реконструкция инвариантной массы

- После применения всех «cuts», при наличии хотя бы одного гамма-кванта, относящегося ко вторичной вершине, подтвердилась гипотеза кандидата распада $\tau \rightarrow$ «1-prong hadron decay mode».
- Инвариантная масса двух зарегистрированных гамма квантов согласуется с массой π^0 (см. таблицу).
- Инвариантная масса системы $\pi^- \gamma \gamma$ по значению сравнима (см. таблицу) с массой ρ (770). Канал с ρ проявляется в 25% случаев распада $\tau : \tau \rightarrow \rho (\pi^- \pi^0) \nu_\tau$.

π^0 mass	ρ mass
$120 \pm 20 \pm 35$ MeV	$640^{+125}_{-80} {}^{+100}_{-90}$ MeV

Фоновые события



Найдено одно событие в адронном канале распада тау-лептона.
Предположительный вклад фоновых событий (~ 50% ошибка для
каждой компоненты):

0.011 событий (reinteractions)

0.007 событий (фон от чармированных частиц)



0.018 ± 0.007 (syst) 1-prong адронные события

Моды распада: 1-prong адронная, 3-prongs + 1-prong μ + 1-prong e :
 0.045 ± 0.020 (syst) событий total BG.

Если рассматривать только «1-prong» канал с рождением адрона,
то вероятность наблюдения одного события по отношению к
флуктуациям фона составляет 1.8%, при значении достоверности
2.36 σ .

Если включать в рассмотрение все моды распада тау-лептона, то
вероятность наблюдения одного события с учетом фона
составляет 4.5%. Это соответствует 2.01 σ .

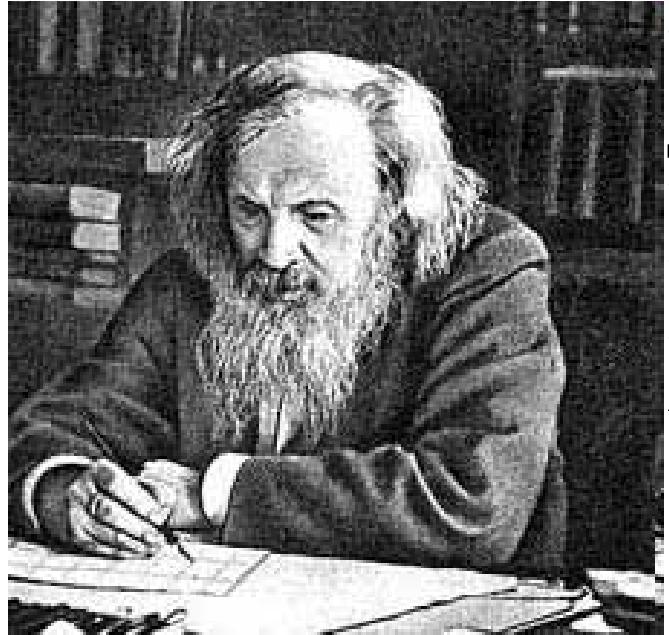
Заключение

- Эксперимент OPERA начатый в 2006 году успешно накапливает статистику.
- Обработка экспериментального материала с использованием методов автоматизированного сканирования и поиска вершин взаимодействия и точек распада успешно продолжается.
- Получены события, топология которых указывает на существование распадных процессов. Среди этих событий могут быть первые кандидаты на распад таона.
- Зарегистрировано событие без мюона, указывающее на распад t по адронному каналу с 1 адроном. Для уменьшения вклада фона накладывались кинематические ограничения. Это событие - первый кандидат на регистрацию νt нейтрино в эксперименте OPERA

«ОЛИМПИЯ»

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





**1869 г. – Периодическая система
Д.И.Менделеева.**

1875 – галлий

1879 – скандий

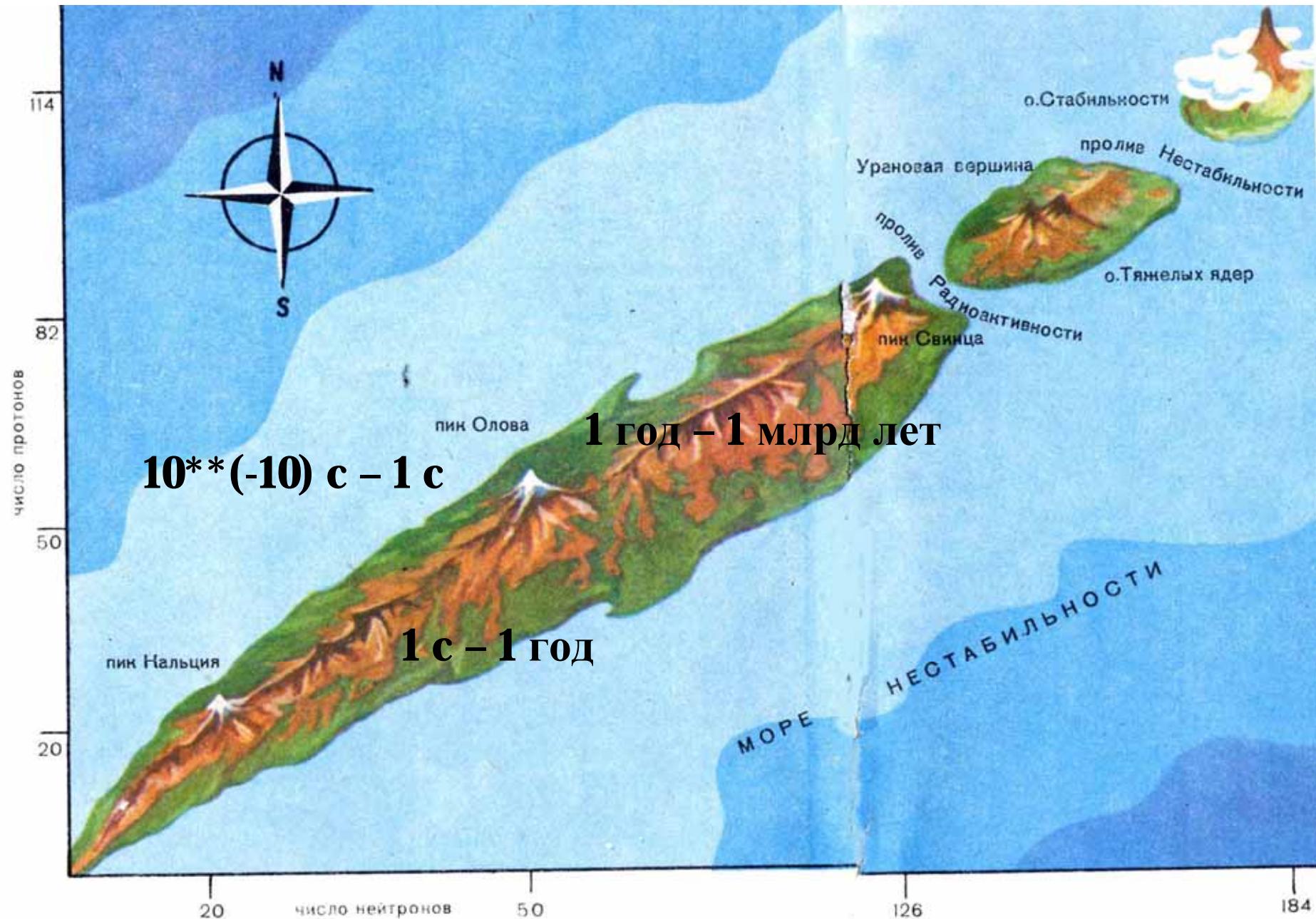
1886 – германий

**Чем больше заряд ядра, тем сильнее
притягиваются внутренние электроны,
первые расчеты - ядра с $A < 170-180$**

**Однако, развитие физики показало, что границу таблицы
определяет не нестабильность электронной оболочки
атома, а нестабильность ядра.**

Очень стабильны изотопы с четным числом р и н.

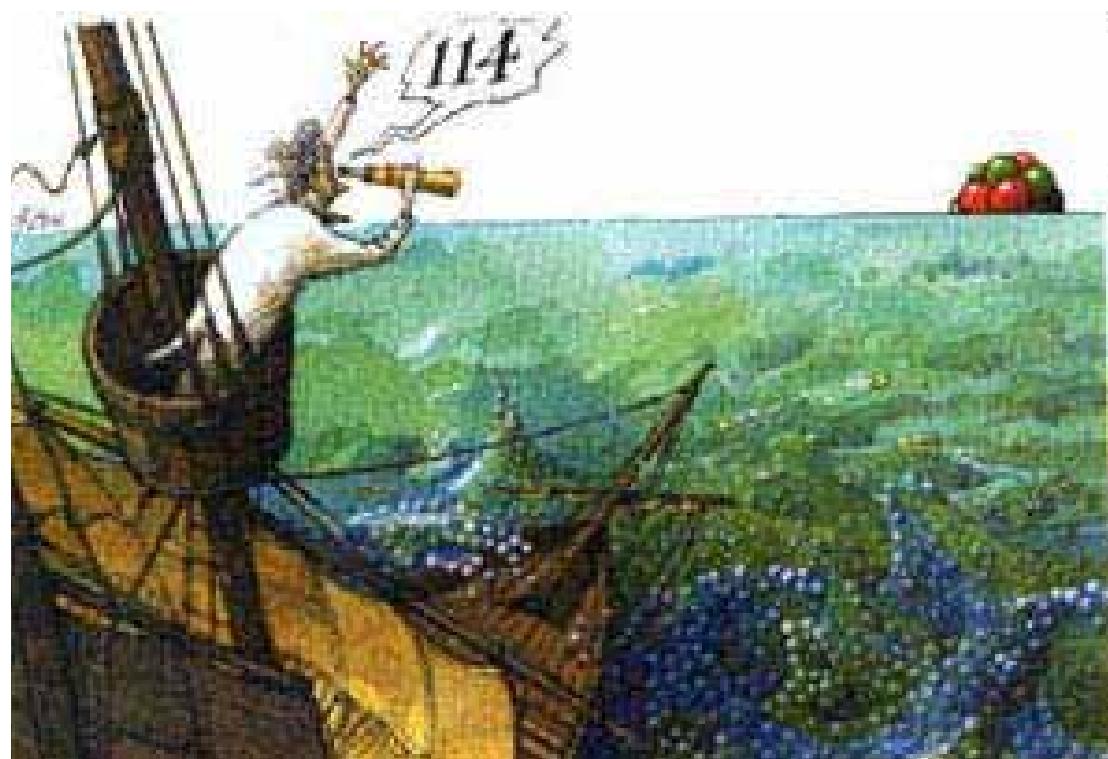
**Наиболее стабильны ядра, содержащие магическое число
нейтронов или протонов (2, 8, 20, 50, 82, 126) - полностью
застроены нейтронные и протонные оболочки (кальций,
олово, свинец).**



**Сверхтяжелые элементы синтезировали нейтронным синтезом
(реакторный способ; прибавили один нейtron, ядро перенасыщено
нейтронами, произошел бета-распад, образовался протон и заряд ядра
повысился на единицу).**

**Возможности этого метода искусственного синтеза закончились на
фермии (99 элемент эйнштейний-253 и 100 элемент фермий-255).**

**Теперь таким способом трансфермиевые элементы синтезируются
только при взрывах сверхновых или в недрах пульсаров.**



**Следующие ядра были
синтезированы на
ускорителях, например,
работы Ю.Ц.Оганесяна:**

102, 103, 104, 105 (дубний),

**112 ,113, 114, 115, 116, 117,
118.**

	Group 1 I груп	1a	1.00794	
1	Period	1 H	1s ¹	-259.14
				-252.87
				2.02/-
	Hydrogen	Водород	Hydrogenium	
2		2 Li	2s ¹	6.941
		[He]2s ¹		9.012182
		3 Be	2s ²	180.54
				1347
				0.98/0.97
	Lithium	Литий	Beryllium	Bериллий
3		11 Na	3s ¹	22.989770
		[Ne]3s ¹		24.3050
		12 Mg		97.86
				883.15
				1107
	Sodium	Натрий	Magnesium	Магний
4		19 K	4s ¹	39.0983
		[Ar]4s ¹		40.078
		20 Ca		44.955910
		21 Sc	3d ^{4s²}	47.867
		22 Ti	3d ^{4s²}	50.9415
		23 V	3d ^{4s¹}	54.9961
		24 Cr	3d ^{4s²}	54.938046
		25 Mn	3d ^{4s²}	55.845
		26 Fe	3d ^{4s²}	58.933200
		27 Co	3d ^{4s²}	58.6934
		28 Ni	3d ^{4s¹}	63.546
		29 Cu	3d ¹⁰	65.39
		30 Zn	3d ¹⁰	69.723
		31 Ga	3d ¹⁰ 4s ^{4p¹}	72.61
		32 Ge	3d ¹⁰ 4s ^{4p²}	74.92160
		33 As	3d ¹⁰ 4s ^{4p³}	78.96
		34 Se	3d ¹⁰ 4s ^{4p⁴}	79.904
		35 Br	3d ¹⁰ 4s ^{4p⁵}	83.80
		36 Kr	3d ¹⁰ 4s ^{4p⁶}	
5		37 Rb	4d ^{5s¹}	87.62
		[Kr]5s ¹		88.90585
		38 Sr	5s ²	89.1224
		39 Y	4d ^{5s²}	92.90638
		40 Zr	4d ^{5s¹}	95.94
		41 Nb	4d ^{5s¹}	(97)
		42 Mo	4d ^{5s¹}	101.07
		43 Tc	4d ^{5s¹}	102.90550
		44 Ru	4d ^{5s¹}	106.42
		45 Rh	4d ¹⁰	107.8682
		46 Pd	4d ¹⁰	112.411
		47 Ag	4d ¹⁰	114.818
		48 Cd	4d ¹⁰ 5s ²	118.710
		49 In	4d ¹⁰ 5s ³	121.760
		50 Sn	4d ¹⁰ 5s ⁴	126.90447
		51 Sb	4d ¹⁰ 5s ⁵	131.29
		52 Te	4d ¹⁰ 5s ⁵ p ¹	
		53 I	4d ¹⁰ 5s ⁵ p ²	
		54 Xe	4d ¹⁰ 5s ⁵ p ³	
6		55 Cs	5s ²	137.327
		[Xe]6s ¹		138.9055
		56 Ba	5d ^{6s²}	178.46
		57 La	4f ¹ 5d ^{6s²}	180.9479
		72 Hf	4f ¹ 5d ^{6s²}	183.84
		73 Ta	4f ¹ 5d ^{6s²}	186.207
		74 W	4f ¹ 5d ^{6s²}	190.23
		75 Re	4f ¹ 5d ^{6s²}	192.217
		76 Os	4f ¹ 5d ^{6s²}	195.078
		77 Ir	4f ¹ 5d ^{6s²}	196.96655
		78 Pt	4f ¹ 5d ^{6s²}	200.59
		79 Au	4f ¹ 5d ^{6s²}	204.3833
		80 Hg	4f ¹ 5d ^{6s²}	207.2
		81 Ti	4f ¹ 5d ^{6s²}	(210)
		82 Pb	4f ¹ 5d ^{6s²}	208.98038
		83 Bi	4f ¹ 5d ^{6s²}	211.3
		84 Po	4f ¹ 5d ^{6s²}	217.1
		85 At	4f ¹ 5d ^{6s²}	221.0
		86 Rn	4f ¹ 5d ^{6s²}	226.2
7		87 Fr	5f ^{7s²}	(226)
		[Rn]7s ¹		227
		88 Ra	5f ^{7s²}	27
		89 Ac	5f ¹ 6d ^{7s²}	677
		104 Rf	5f ¹ 6d ^{7s²}	970
		105 Db	5f ¹ 6d ^{7s²}	1050
				(~3250)
				1.1/1.0
		Francium	Radium	Actinium
		Rutherfordium	Dubnium	Seaborgium
		Bohrium	Bориев	Хассиев
		Hassium	Мельтнериев	Унунниев
		Meltnerium	Унунниев	Унунниев
		Ununnilium	Унунниев	Унунниев
		Ununtrium	Унунтриев	Унунтриев
		Ununquadrium	Унунквадриев	Унунквадриев
				Mar. 2004

Современная периодическая система элементов Д.И.Менделеева

Атомная масса, относительная

186.207

75 Re

[Xe] 4f¹⁴5d^{6s²}

Atomic mass, relative

186.207

75 Re

Electron configuration

3180

Melting point (°C)

5627

Boiling point (°C)

1.9/1.46

Electronegativity

(Pauling/Allred & Rochow)

Name

Rhenium

Рений

Rhenium

Атомный номер. Обозначение

75

Распределение электронов

2s²

Температура плавления (°C)

2210

Температура кипения (°C)

2.04/2.01

Электроотрицательность

2.55/2.50

(по Полингу/по Аллреду и Рочоу)

Boron

Бор

Boron

Группы 1...18 IUPAC 1989

Groups IA...VIII...0 IUPAC 1970

Группы 1...18 ИЮПАК, 1989

Groups IA...VIII...0 ИЮПАК, 1970

Atomic No. Symbol

13 Al

Aluminum

Алюминий

Aluminum

Силиций

Kремний

Silicon

Фосфор

Phosphorus

Фосфор

Сера

Sulphur

Хлор

Chlorine

Аргон

Argon

Groups 13...18 IUPAC 1989

Groups IA...VIII...0 IUPAC 1970

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1989

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1970

14 Si

Silicon

Кремний

Silicon

Фосфор

Phosphorus

Фосфор

Сера

Sulphur

Хлор

Chlorine

Аргон

Argon

Groups 13...18 IUPAC 1989

Groups IA...VIII...0 IUPAC 1970

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1989

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1970

15 P

Phosphorus

Фосфор

Сера

Sulphur

Хлор

Chlorine

Аргон

Argon

Groups 13...18 IUPAC 1989

Groups IA...VIII...0 IUPAC 1970

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1989

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1970

16 S

Sulphur

Хлор

Chlorine

Аргон

Argon

Groups 13...18 IUPAC 1989

Groups IA...VIII...0 IUPAC 1970

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1989

Группы 1A...VIII...0 ИЮПАК, 1970

17 Cl

Chlorine

Хлор

Chlorine

Аргон

Argon

18 Ar

Argon

Аргон

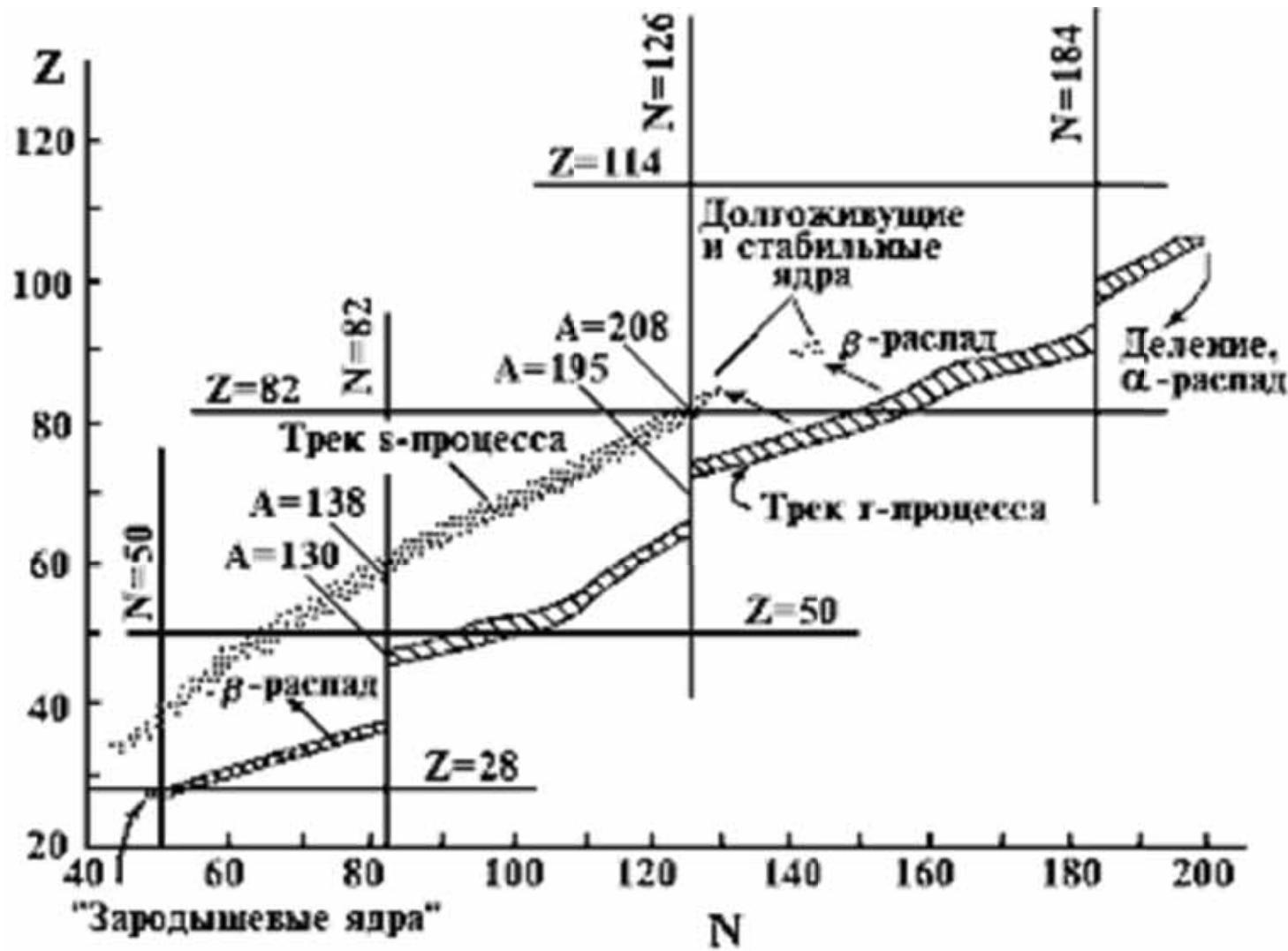
В 1869 г. – 63 элемента, 2009 - 114

92 U (238) 5f ⁶ d ¹ 7s ² 1132 3818 -1.2/1.2	93 Np (239) 5f ⁶ d ¹ 7s ² 639 3902 1.22/1.2	94 Pu (239) 5f ⁶ 7s ² 641 3340 1.2/1.2	95 Am (243) 5f ⁷ s ² 996 2607 -1.1/1.2	96 Cm (247) 5f ⁶ d ¹ 7s ² 1340 3110 1.2/1.2	97 Bk (247) 5f ⁶ 7s ² 1050 2630 -1.1/1.2	98 Cf (252) 5f ¹⁰ 7s ² 900 1227 1.2/1.2	99 Es (251) 5f ¹¹ 7s ² 860 - 1.3/-	100 Fm (257) 5f ¹² 7s ² - 1.3/1.2	101 Md (258) 5f ¹³ 7s ² - 1.2/1.2	102 No (259) 5f ¹⁴ 7s ² - 1.3/-	103 Lr (260) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ² - 1.3/-
Uranium Уран	Neptunium Нептуний	Plutonium Плутоний	Americium Америций	Curium Кюрий	Berkellium Берклий	Californium Калифорний	Einsteinium Эйнштейний	Fermium Фермий	Mendelevium Менделевий	Nobelium Нобелий	Lawrencium Лоуренсий
104 Rf (261) 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	105 Db (262) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	106 Sg (263) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	107 Bh (264) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	108 Hs (265) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	109 Mt (268) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	110 Uun (269) 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	111 Uuu () 5f ¹⁴ 6d ⁰ 7s ²	112 Uub (277) 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	113 Unt () 5f ¹⁴ 6d ¹¹ 7s ² 7p ¹	114 Uuq (289) 5f ¹⁴ 6d ¹² 7s ² 7p ¹	
Rutherfordium Резерфордий	Dubnium Дубний	Seaborgium Сиборгий	Bohrium Борий	Hassium Хассий	Meitnerium Мейтнерий	Ununnilium Унуннилий	Ununipunium Унунуний	Ununbium Унунбий	Ununtrium Унунтрий	Ununquadrium Унунквадрий	

Самый используемый искусственный элемент - Ru-239.

U-235 – всего 0.7% в природном уране (основная масса U-238). В реакторах на быстрых нейтронах после сгорания 1 кг U-238 позволяют получить 1.6 кг Ru-239, который является ядерным горючим лучшего качества, чем U-235.

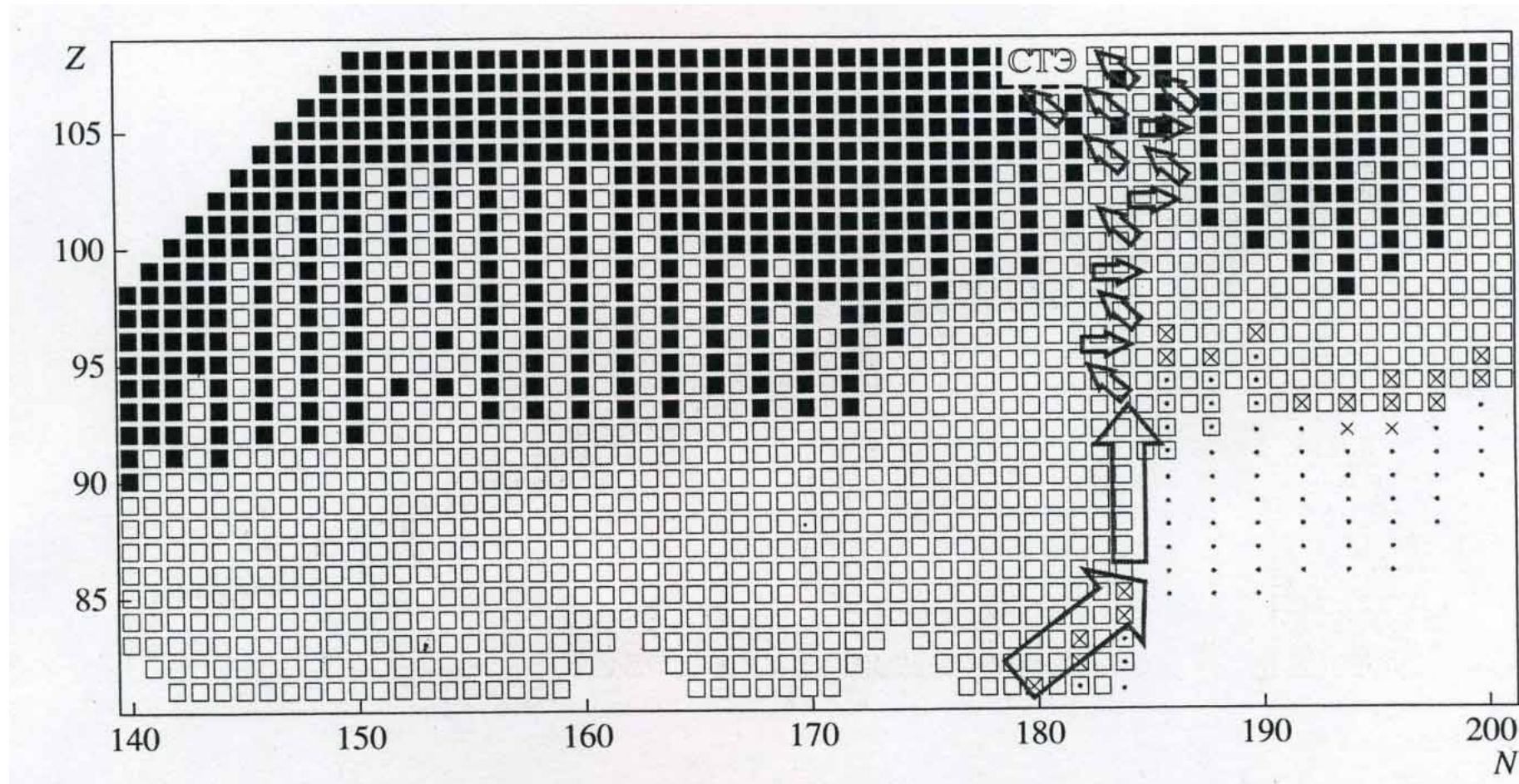
Производство синтетических элементов в мире выросло с миллиардных долей грамма до многих килограммов и даже тонн.



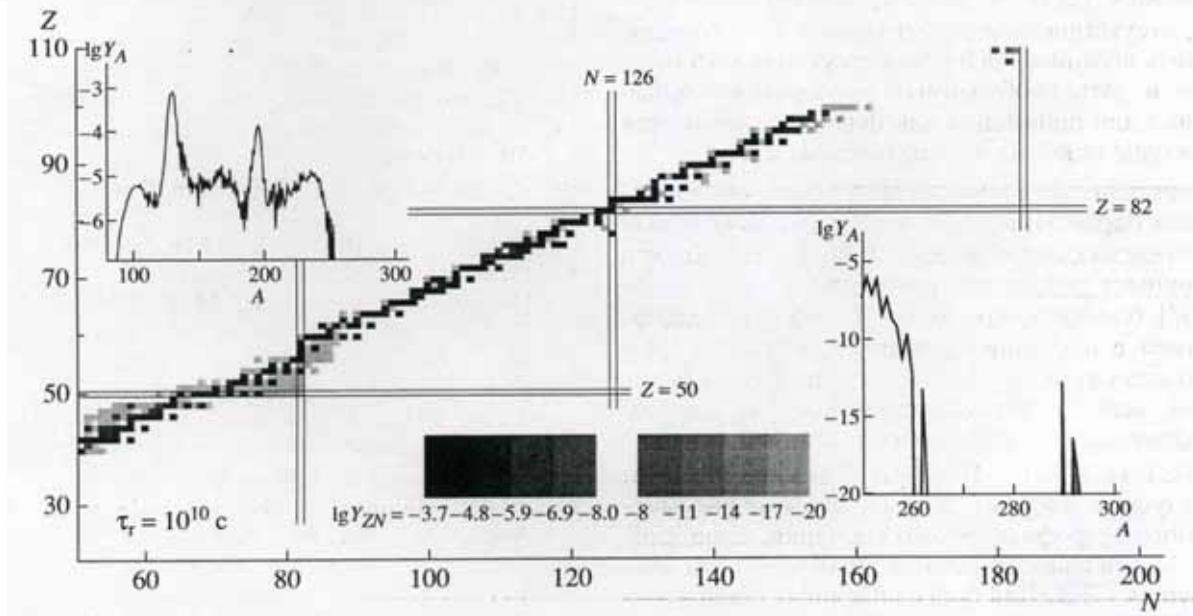
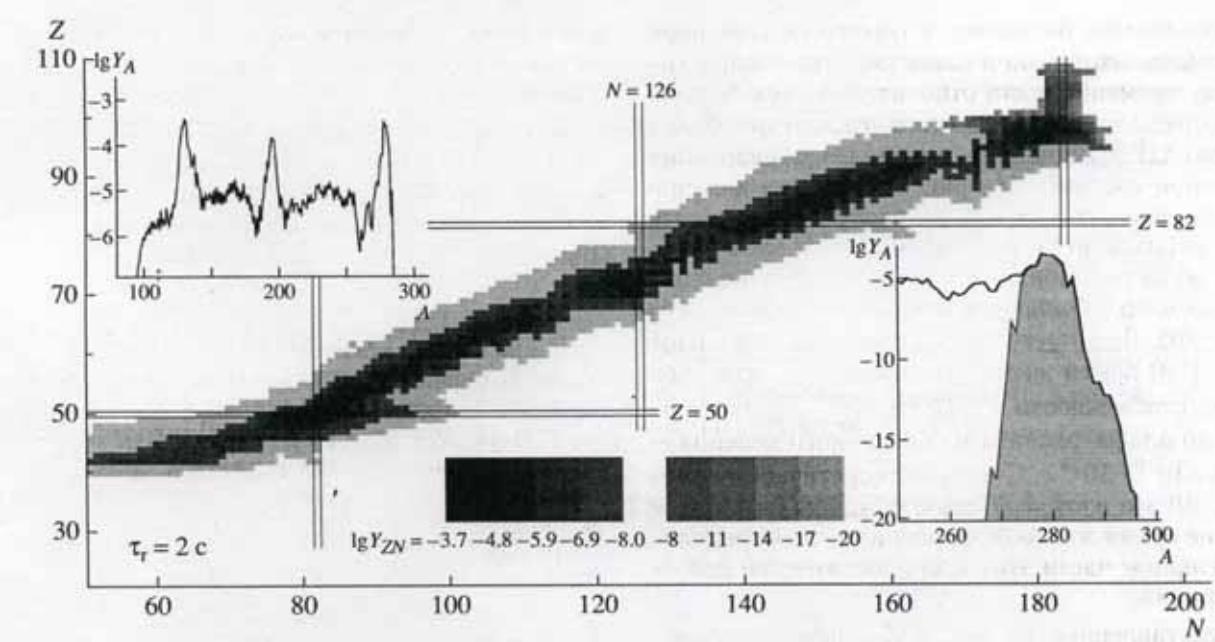
Теория предсказывает, что элемент $Z=110$, $A=294$ должен жить более 100 млн лет. Однако, если изменить число нейтронов или протонов на 2-3 единицы (всего на 1%), то время жизни элемента уменьшится в 10 млн раз. Такой же пример $Pb-208$ ($Z=82$, $N=126$), его распад никто не наблюдал. Pb со 127 нейtronами распадается за 3.3 часа.

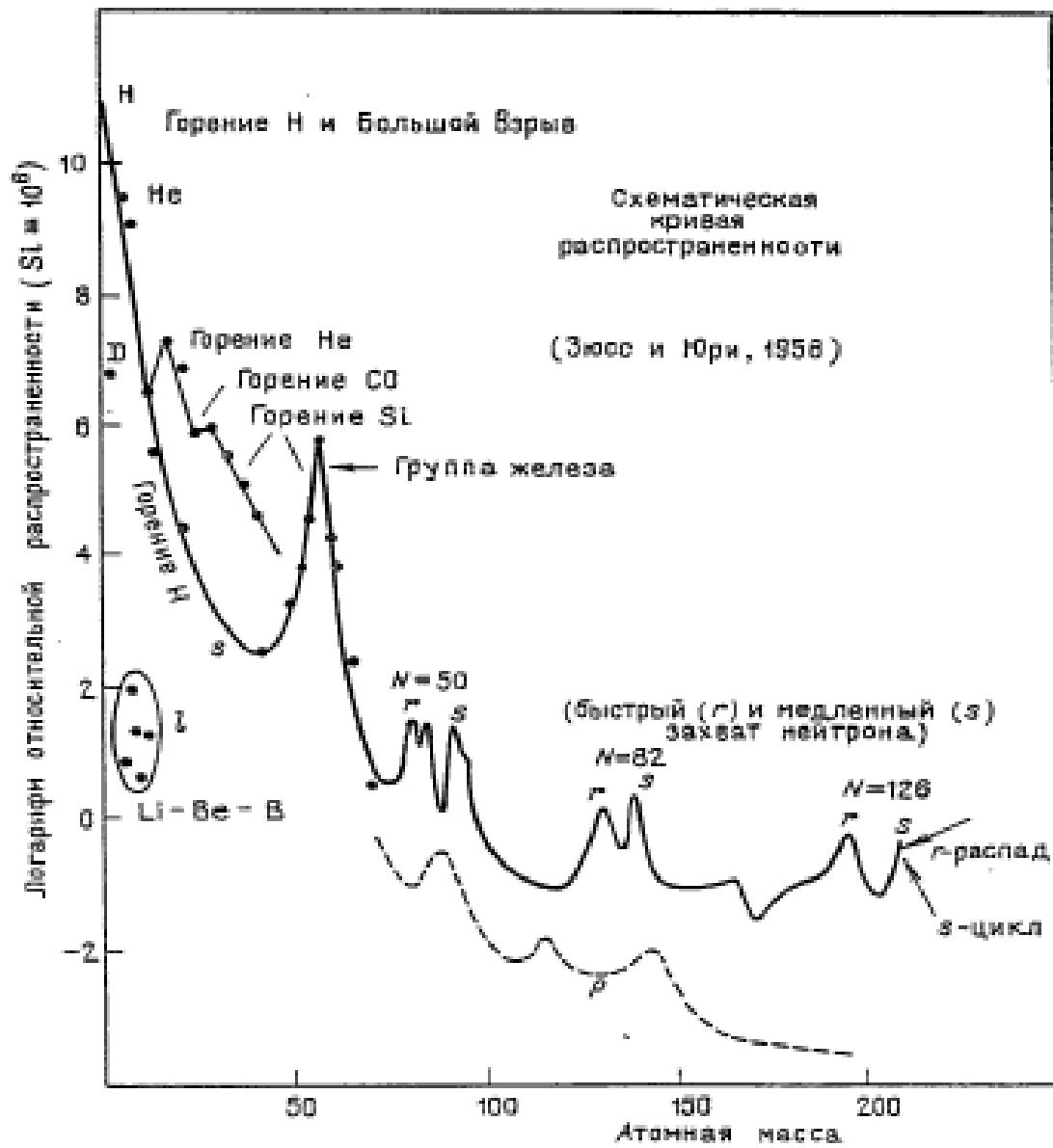
Модели формирования сверхтяжелых ядер в астрофизических процессах

И.В. Панов, И.Ю. Корнеев, Ф.-К. Тилеман, Ядерная физика, 2009, т. 72, № 6, с. 1070.

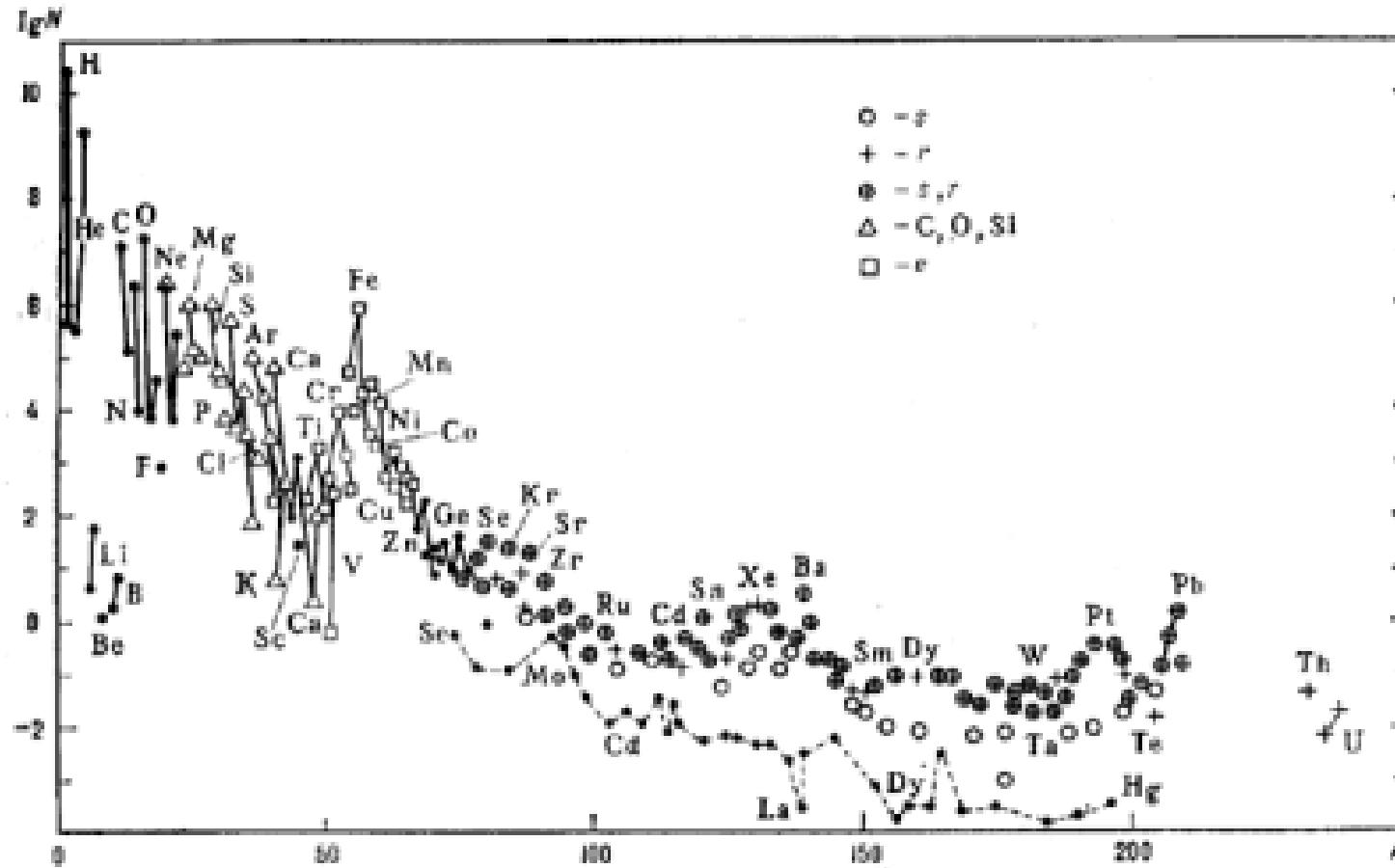


Результаты расчёта заселённости ядер





Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, И.А. Тутынь "Нуклеосинтез во вселенной"



Я.М. Крамаровский, В.П. Чечев, Синтез элементов во вселенной.

В области ядер с $Z>86$ имеется только несколько десятков событий и очень неопределённые данные об их энергетическом распределении, (*Binns et al., HEAO 3; Fowler et al., Ariel 6; Shirk et al., Skylab*) - потоки таких частиц $\sim 1\text{-}2 \text{ nucl./m}^2/\text{year}$

Вывод: требуются детекторы очень больших площадей и длительные экспозиции.

Г.Н.Флеров: при возрасте метеорита сотни миллионов лет исследование 1 куб.см эквивалентно проведению эксперимента с 1-2 т фотоэмulsionии в космосе в течение 1 года.

Впервые в метеоритах тяжелые ядра ($Z\sim 26$) были обнаружены в 1964 г. (*Maurette et al.*).

Более тяжёлые ядра в 1967 г. (*Fleischer et al.*)

Ядра группы тория и урана - 1980 г. (Перельгин и др.)

Оценка В.Л.Гинзбурга этого результата: если этот трек $Z>110$, то его распространенность относительно ядер урана 10^{-3}

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.

Регистрация тяжелых и сверхтяжелых ядер в космических лучах и поиск среди них трансфермиевых ядер с зарядами $Z \geq 110$ принадлежат к числу наиболее значимых и актуальных задач современной ядерной физики и астрофизики [1].

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 чувствительным способом изучения состава источников космических лучей, процессов, происходящих как в самих источниках, так и в межзвездной среде, в которой распространяются космические лучи, и моделей удержания космических лучей в галактике. Существующие в настоящем

Метеорит Марьялахти (Финляндия, 1 июня 1902 г.).

Размер ~ 30 см. Вес ~ 45 кг. Возраст 185 млн лет.

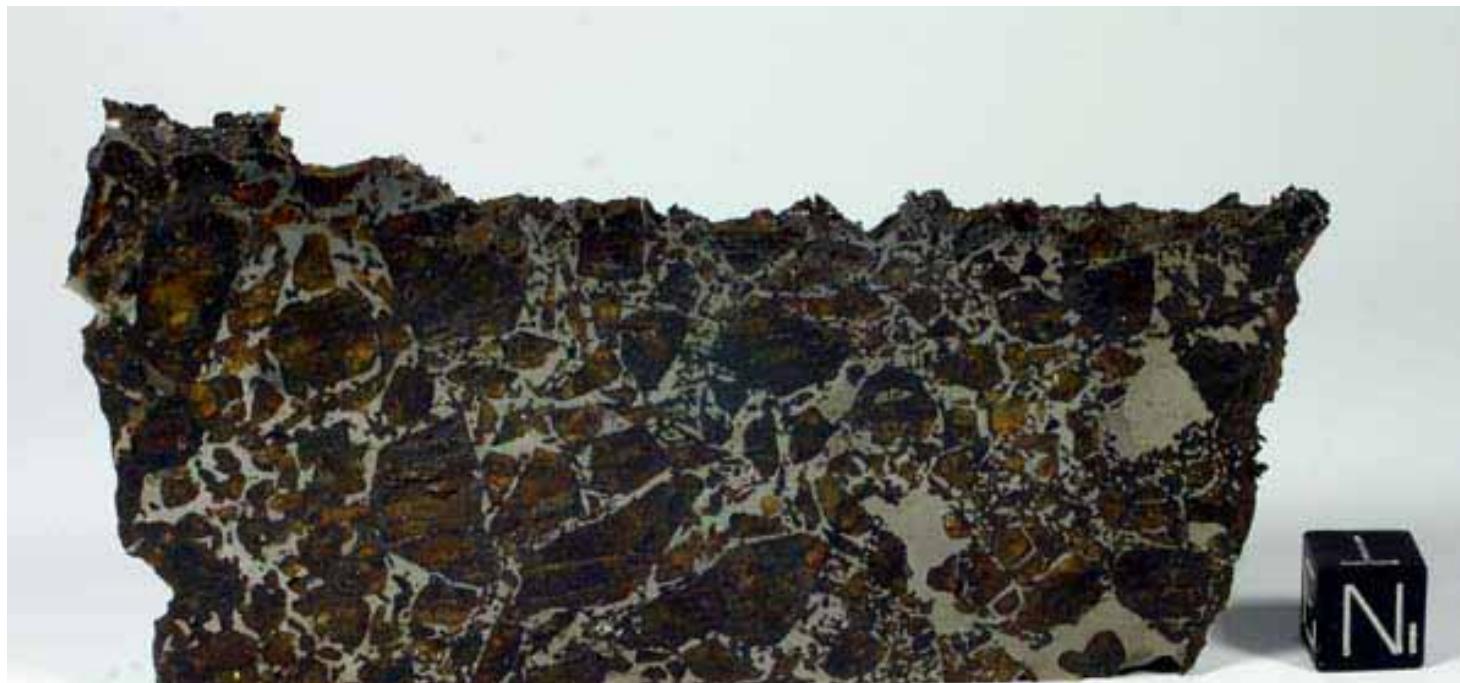
Музей геологической службы Финляндии.



Метеорит Eagle Station (США 1880 г.).

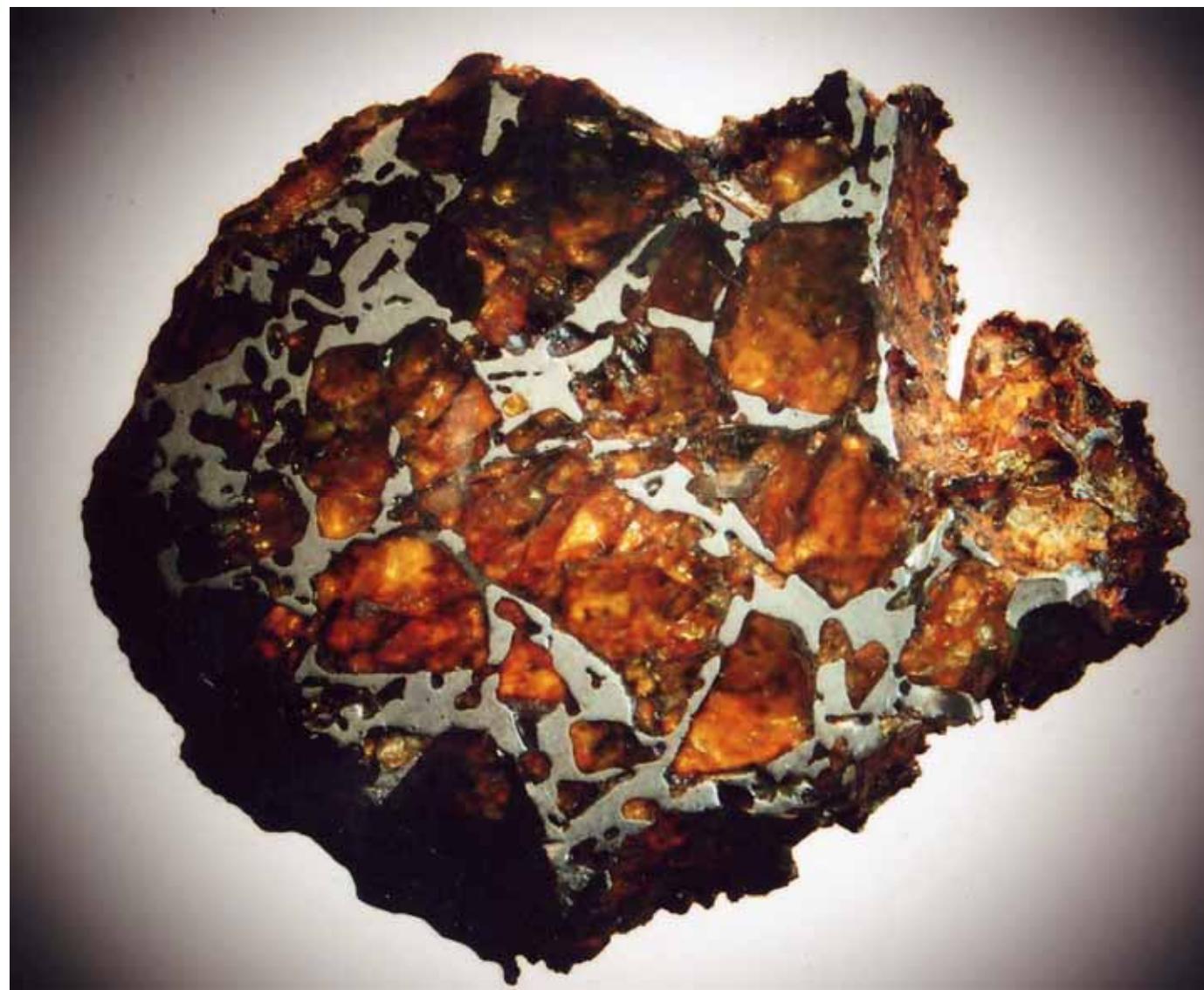
Размер ~ 25 см. Вес ~ 38 кг.

Возраст 300 млн лет.

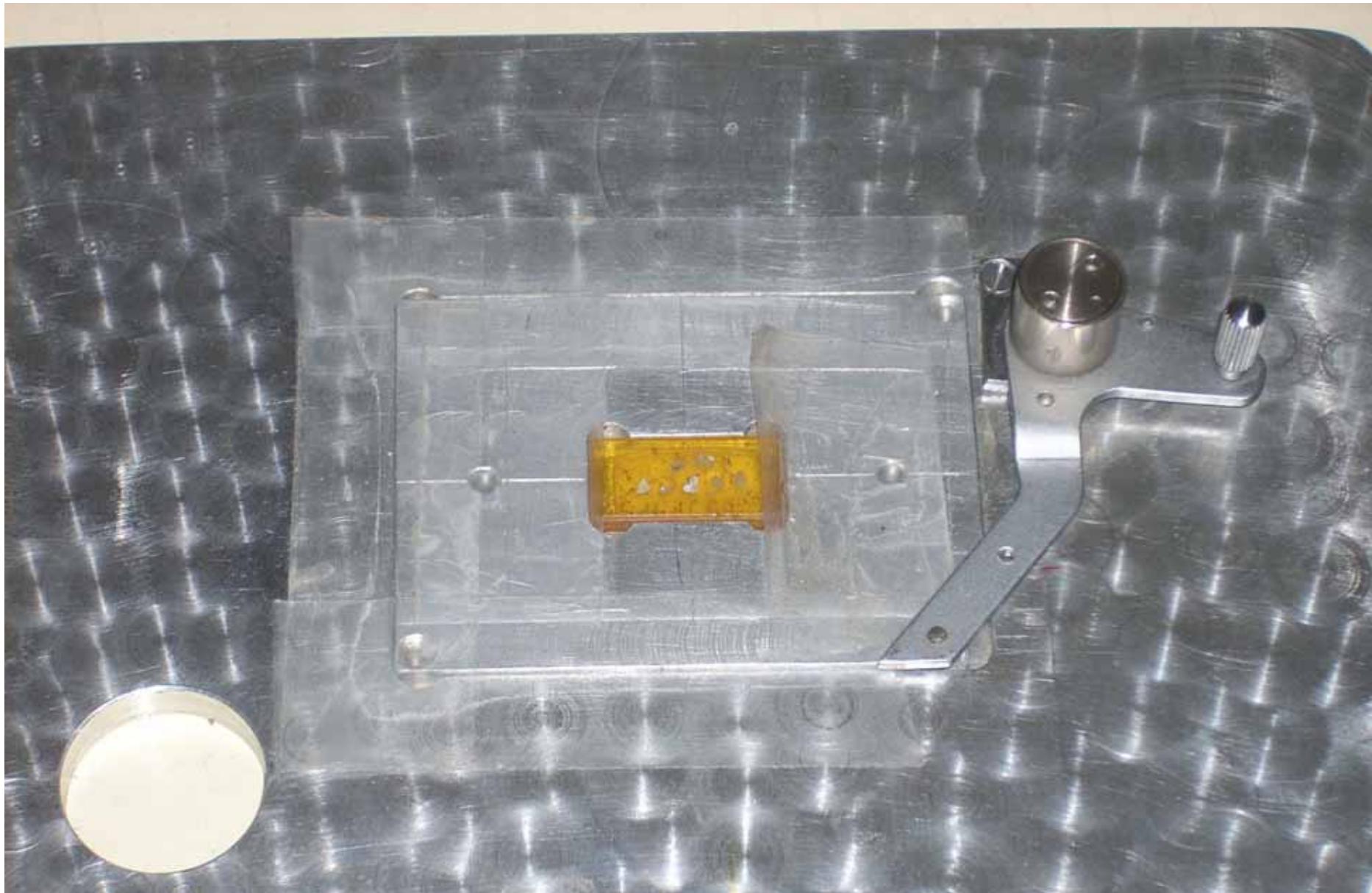


(C) Chinellato Matteo - Natural History Museum Milan





Несколько кристаллов оливина упаковываются в таблетку из эпоксидной смолы.

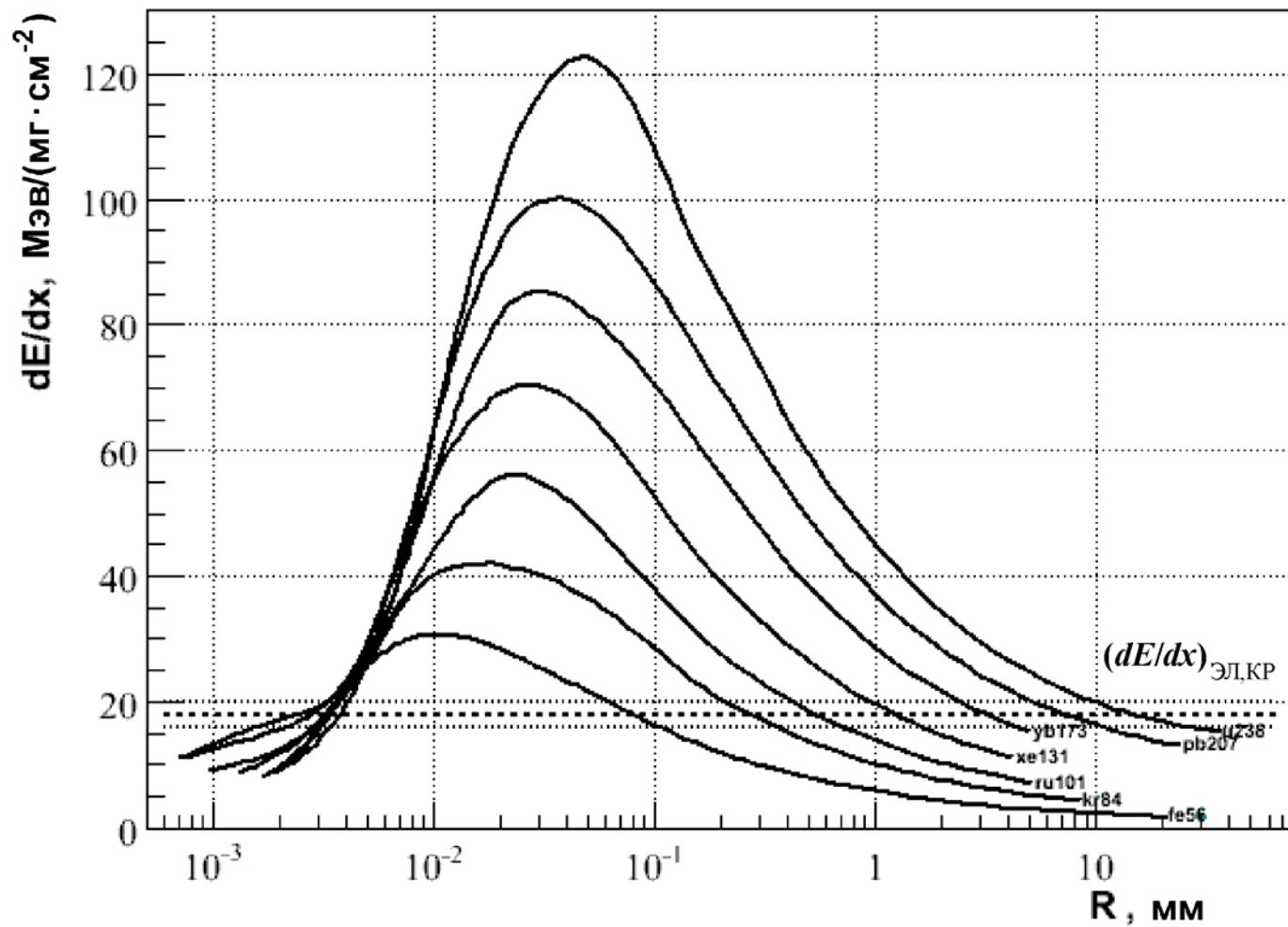




Источник Cf-252,
за 10 мин дает $10^{**}5$ осколков ядра

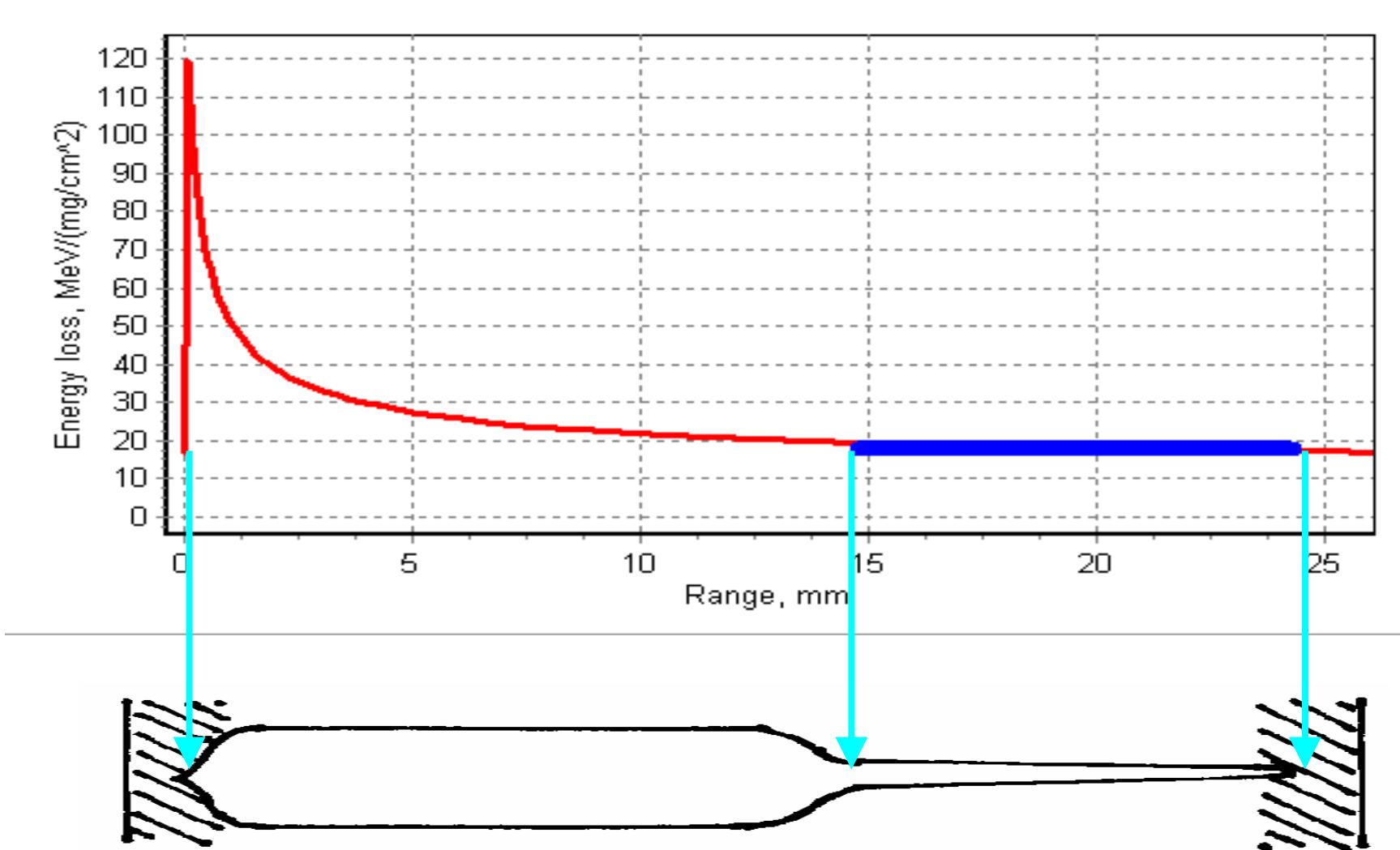


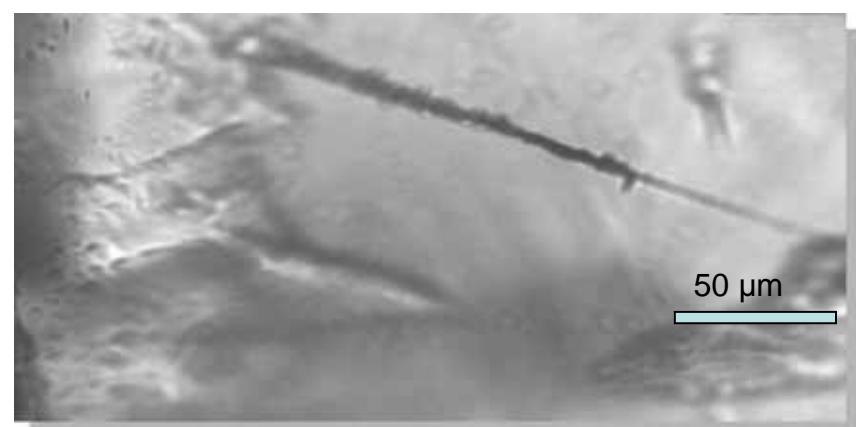


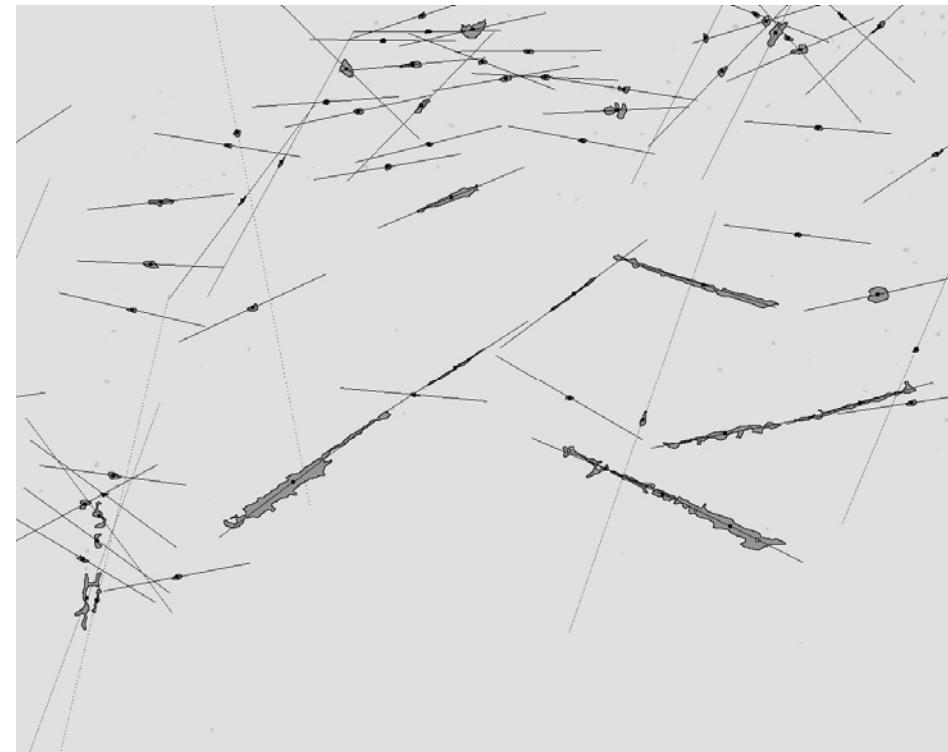
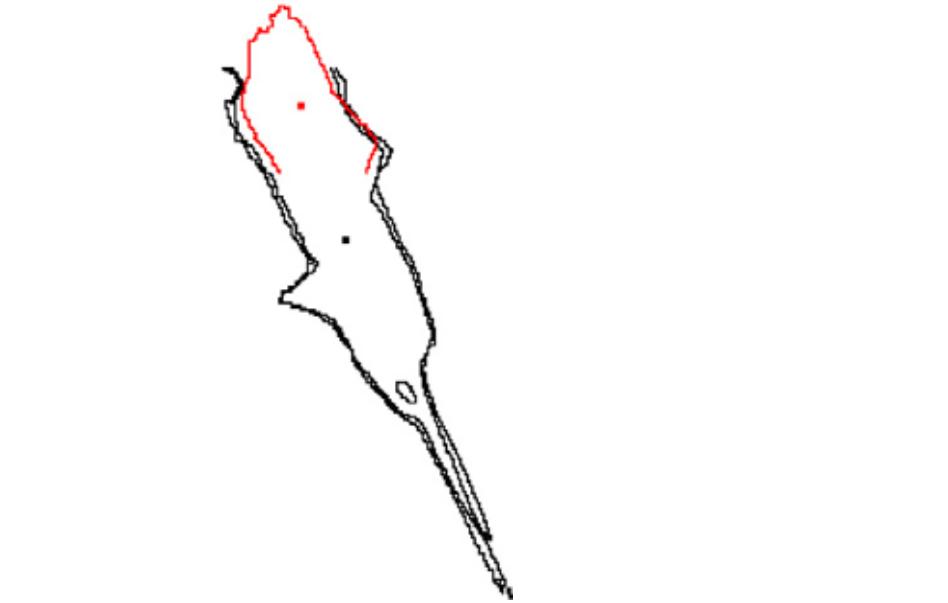
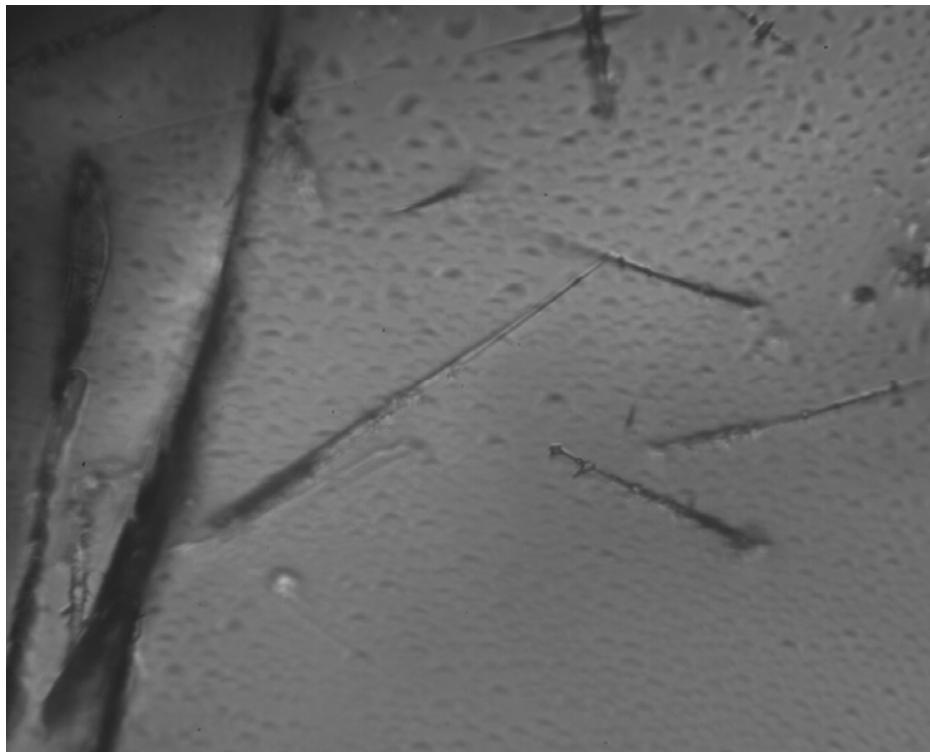
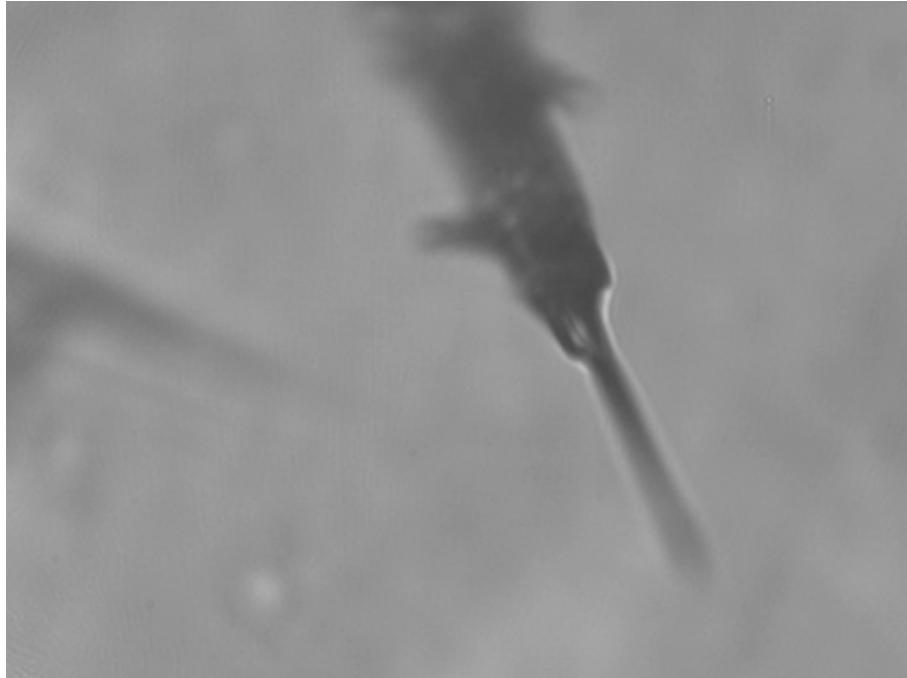


Кривые, иллюстрирующие методику определения полной травимой длины трека
в оливине, для нескольких ядер от ^{56}Fe до ^{238}U

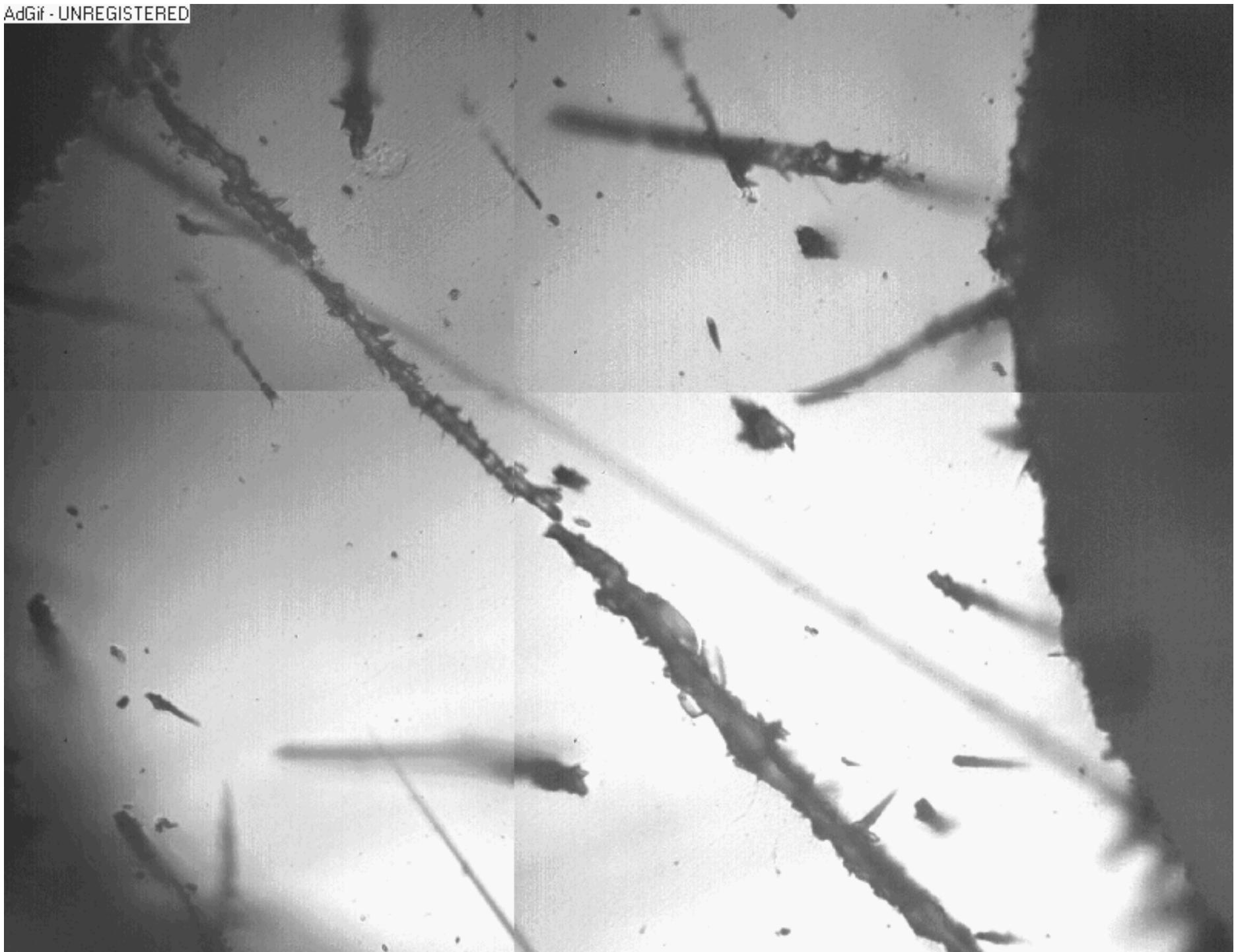
Схема формирования травимого канала и определение полной травимой длины трека

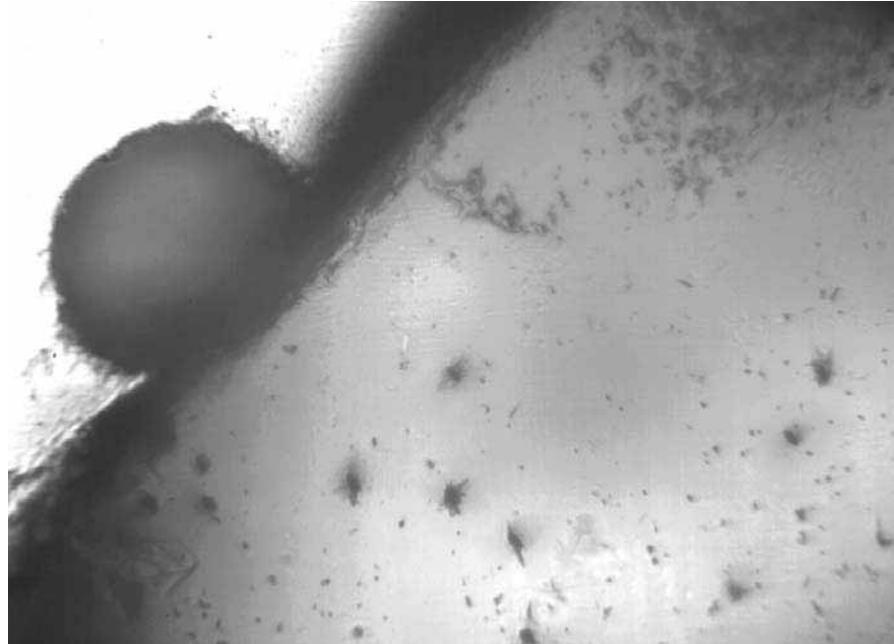






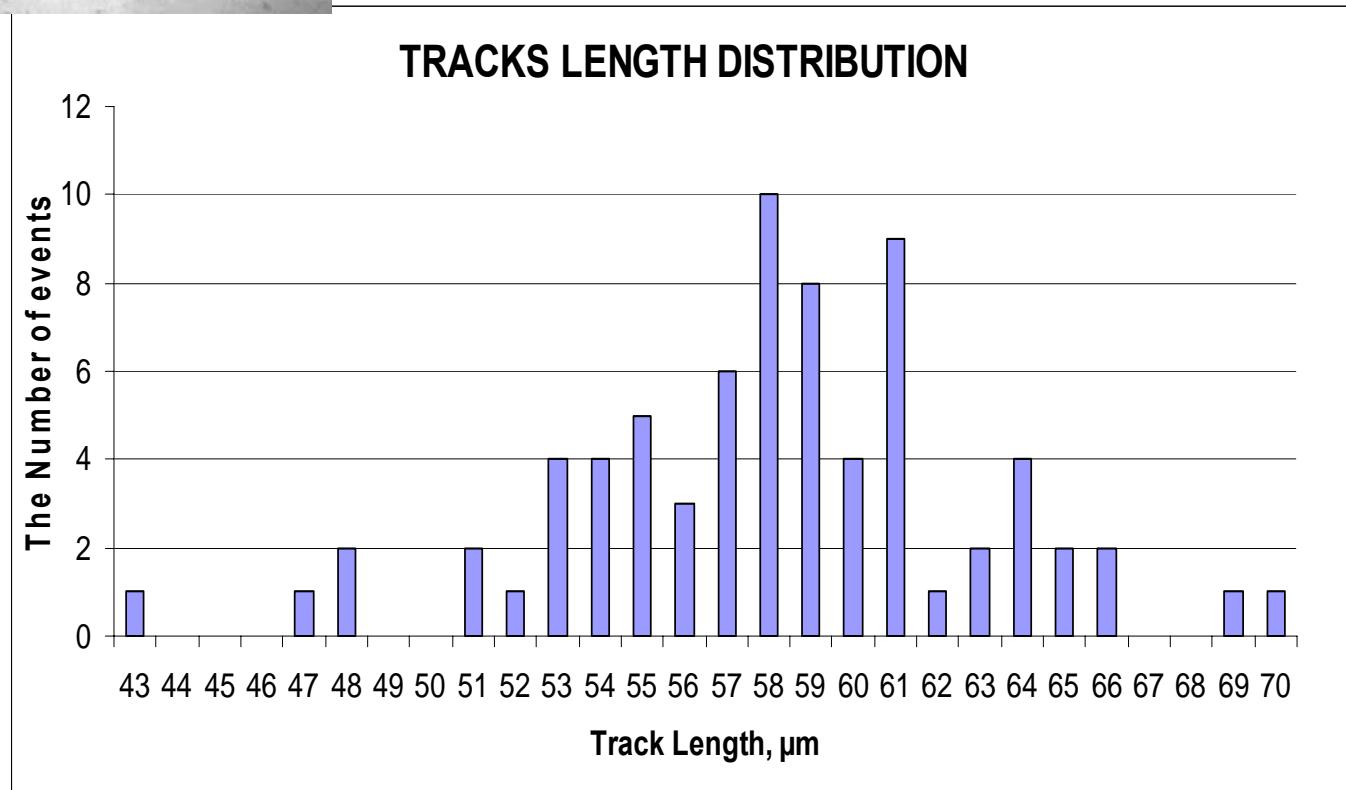
AdGif - UNREGISTERED





Калибровка в Дармштадте 2009 г.,
Au, 11.4 МэВ/н

Расчетная длина (77 ± 5) мкм
Эксперимент (69 ± 6) мкм



В.К.Егоров



**Рентгеновский дифрактометр в Институте проблем технологий
микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Черноголовка**

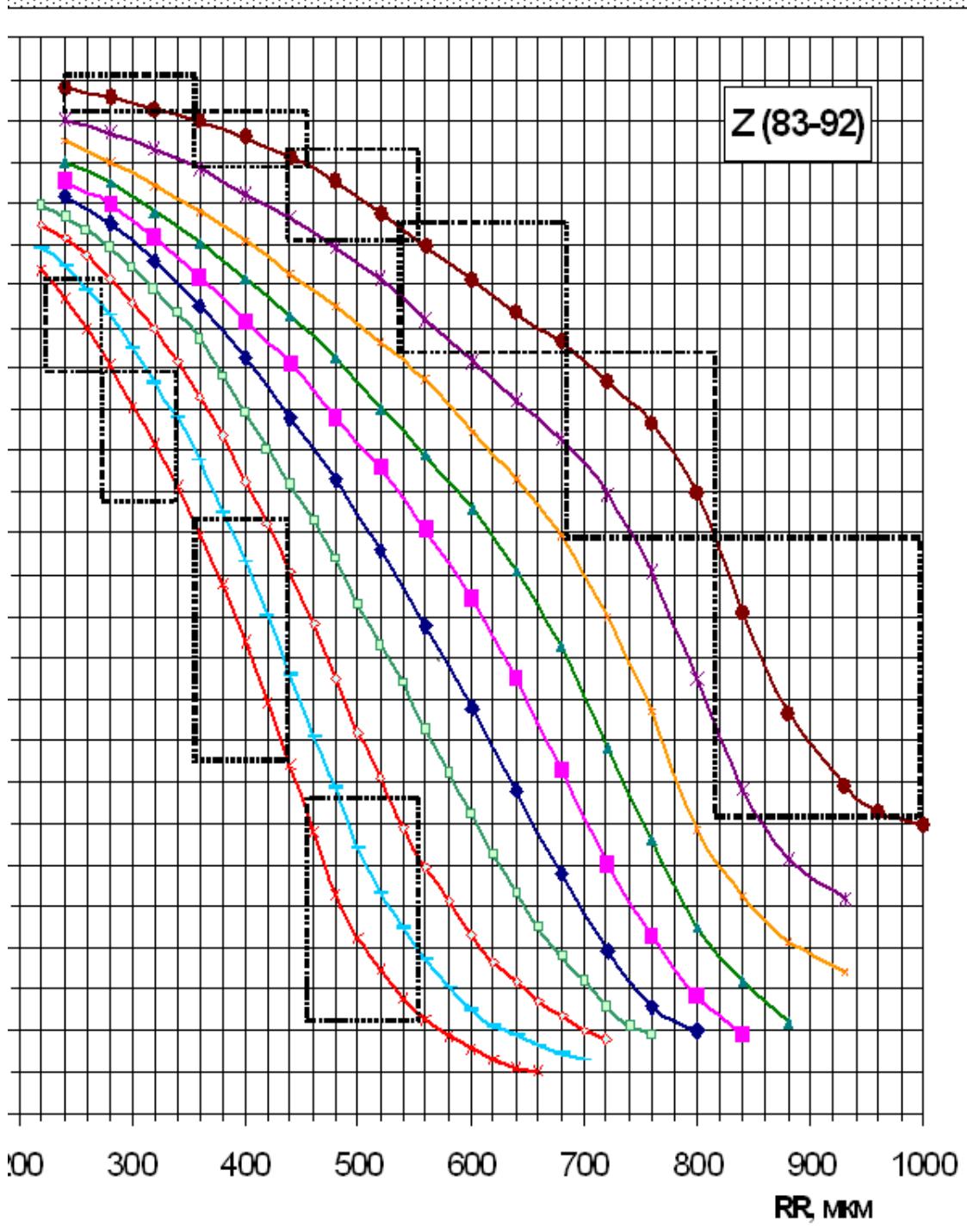
Образец	Сечение, мм^2	Излучение	Ориентация	Угол отклонения $\psi = \omega - \theta $	Наблюдаемые рефлексы	Относительная интенсивность, %	$\left(\frac{\Delta\theta}{\theta} \right)$	Оценка состава оливинина	Степень монокристаллизации	
1		Mok_{ap}	(020)	$\sim 0.7^\circ$	(020) (040) (080) (0.10.0)	100 2 0.8 1.5	$3 \cdot 10^{-3}$	$1.68:0.32$ $(Mg_{0.84}Fe_{0.16})_2SiO_4$	Низкая	
2		Mok_{ap}	(134)	$\sim 0.13^\circ$	(134)	100	$8 \cdot 10^{-3}$	$1.76:0.24$ $(Mg_{0.81}Fe_{0.19})_2SiO_4$	Средняя	
3		Mok_{ap}	(020)	$\sim 0.2^\circ$	(020) (040) (080) (0.10.0) (0.12.0)	100 5 6 17 11	$4 \cdot 10^{-3}$	$1.68:0.32$ $(Mg_{0.84}Fe_{0.16})_2SiO_4$	Высокая	
4		Cuk_{ap}	(131)	$< 0.1^\circ$	(131) (262)	100 2.5	$1 \cdot 10^{-3}$	$1.82:0.18$ $(Mg_{0.81}Fe_{0.19})_2SiO_4$	Высокая	
5		Cuk_{ap}	(101)	$\sim 3.6^\circ$	(101) (202)	100 6	$1 \cdot 10^{-3}$	$1.76:0.24$ $(Mg_{0.81}Fe_{0.19})_2SiO_4$	Высокая	
6		Cuk_{ap}	(021)	$\sim 0.5^\circ$	(021)	100	$2 \cdot 10^{-3}$	$1.86:0.14$ $(Mg_{0.83}Fe_{0.17})_2SiO_4$	Средняя	
7		Cuk_{ap}			II. Минералы, минеральные виды, номенклатура минералов, минералогические системы и минеральные агрегаты					
8		Cuk_{ap}			О НЕКОТОРЫХ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ КРИСТАЛЛОВ ОЛИВИНА ИЗ МЕТЕОРИТА МАРЬЯЛАХТИ					
9		Cuk_{ap}			В. К. Егоров ¹ , Л. Л. Кашкаров ² , Н. Г. Полухина ³ , В. А. Царев ³					
10		Cuk_{ap}			¹ Институт проблем проблем технологий микроэлектроники и особочистых материалов РАН, Черноголовка, egorov@ipmi-hpt.ac.ru					

² Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, ugeochem@geochem.home.chg.ru

³ Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Москва, Россия, poluhina@sci.lebedev.ru

Введение. Оливин, представляющий собой силикатные фазы метеоритов — паппаситов [1], явля-

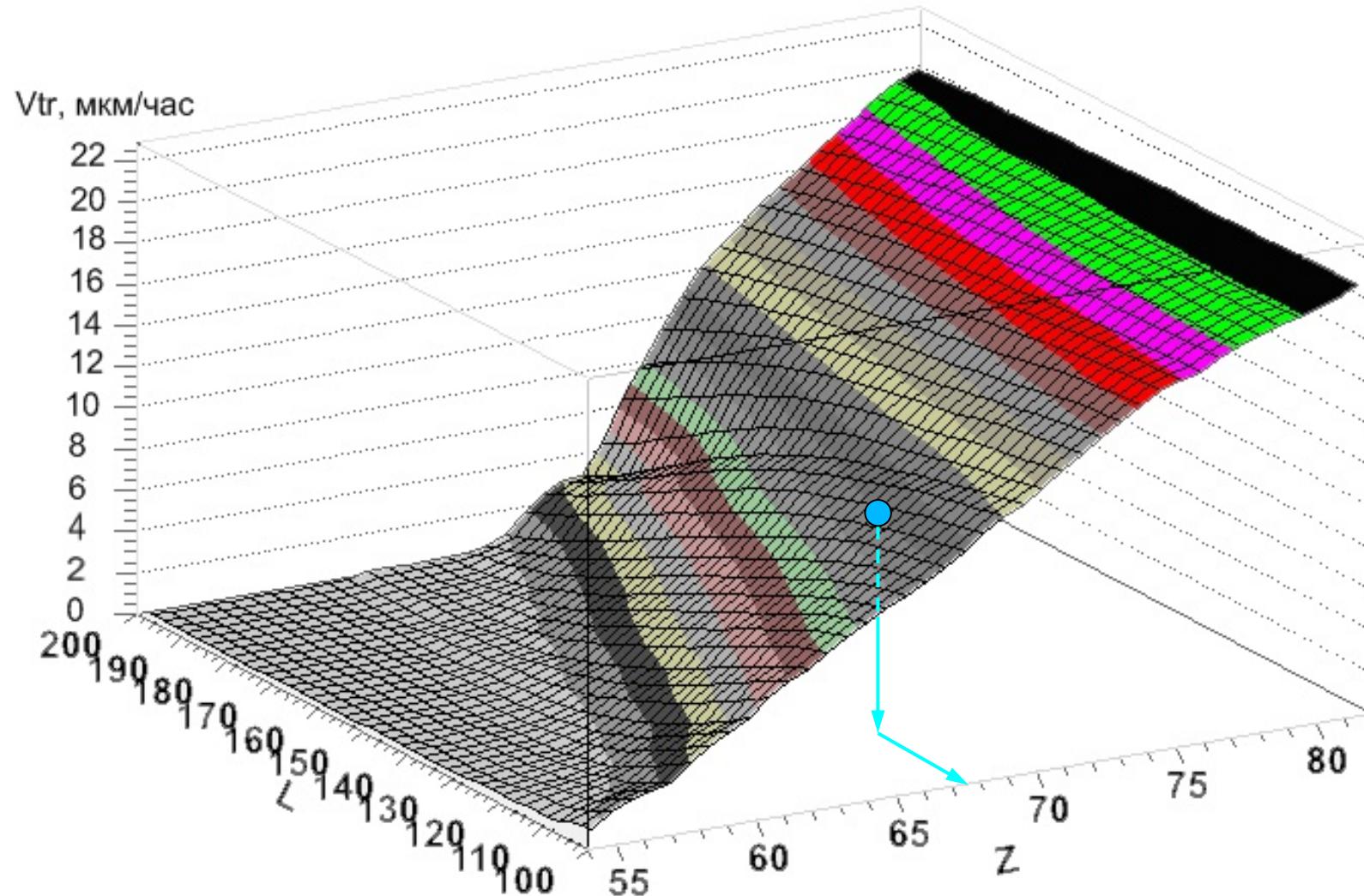
ется задача диагностики степени совершенства структуры оливина осложнена специфическим фактором,



Зависимость скорости травления треков V ($\mu\text{мм}/\text{час}$) от остаточного пробега RR ($\mu\text{мм}$) ядер с зарядом 83-92 в кристаллах оливина из палласита Марьялахти. Квадраты, приведенные для определенных интервалов измеряемых на практике длин треков (L) и соответствующих им значений V , указывают на величину возможной ошибки определения заряда ядер, получаемую при использовании данного метода.

Связь между зарядом, травимой длиной и скоростью травления.

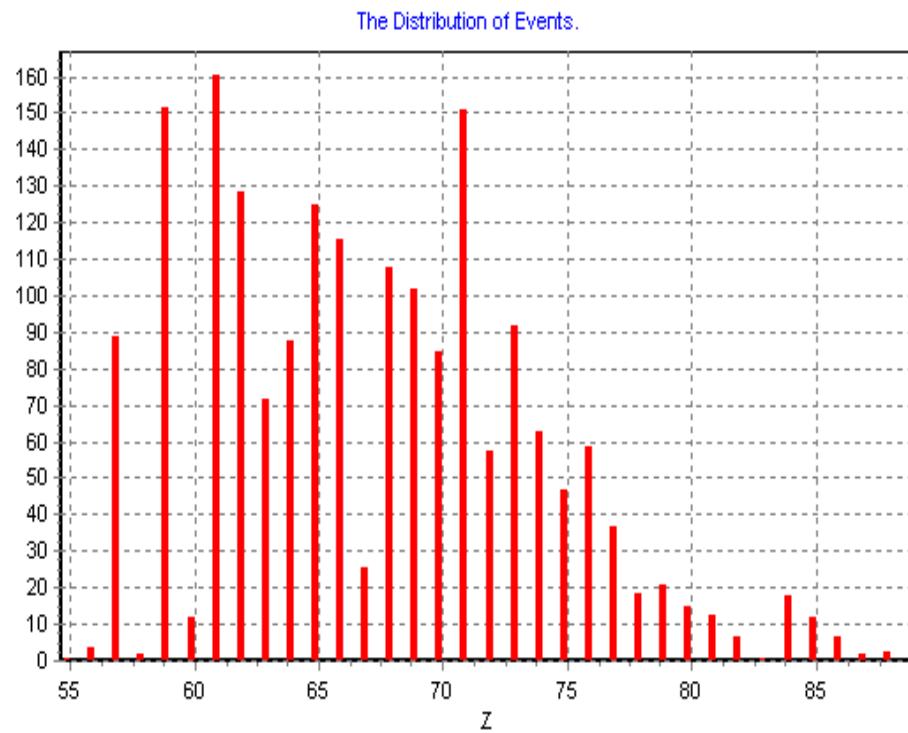
The surface Z-L-V



Распределение величины Z' по результатам обработки треков длиной более 100 мкм .

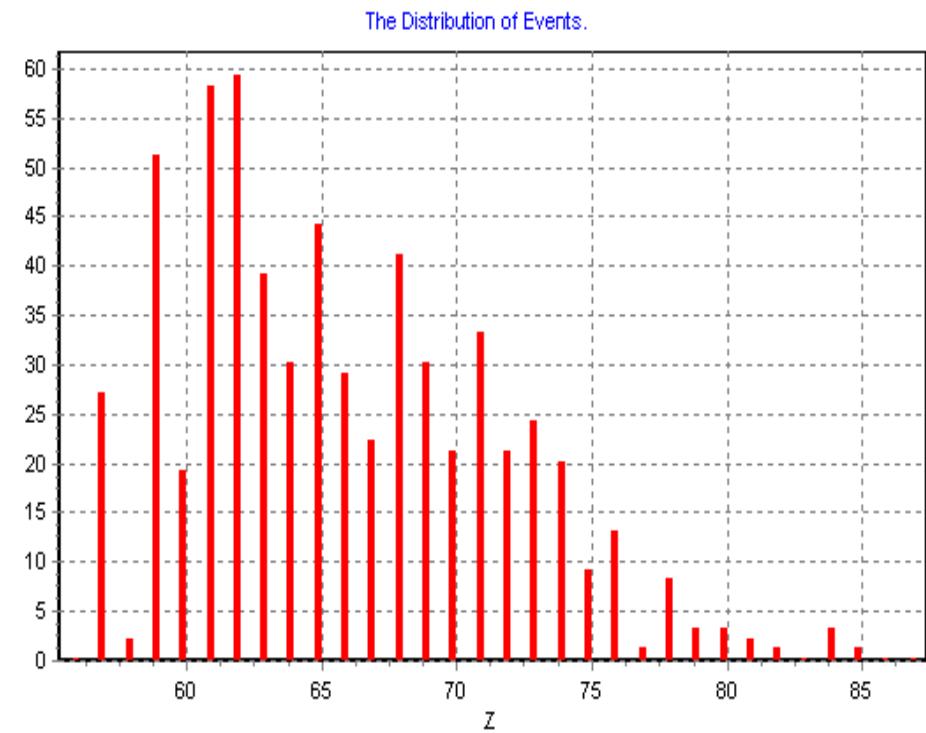
Метеорит Марьялахти (Marjalahti).

1868 треков.



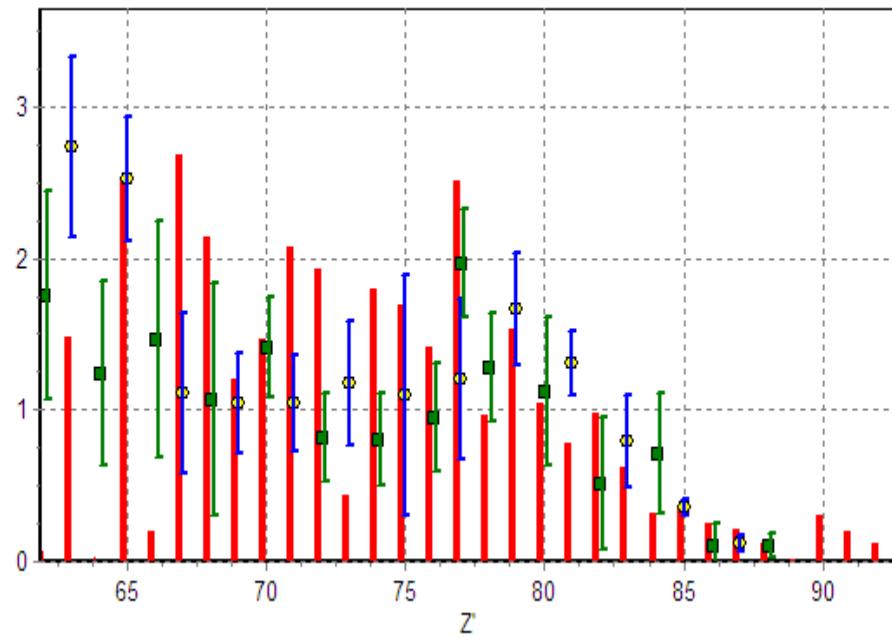
Метеорит Иглстейшен (Eaglestation).

848 треков

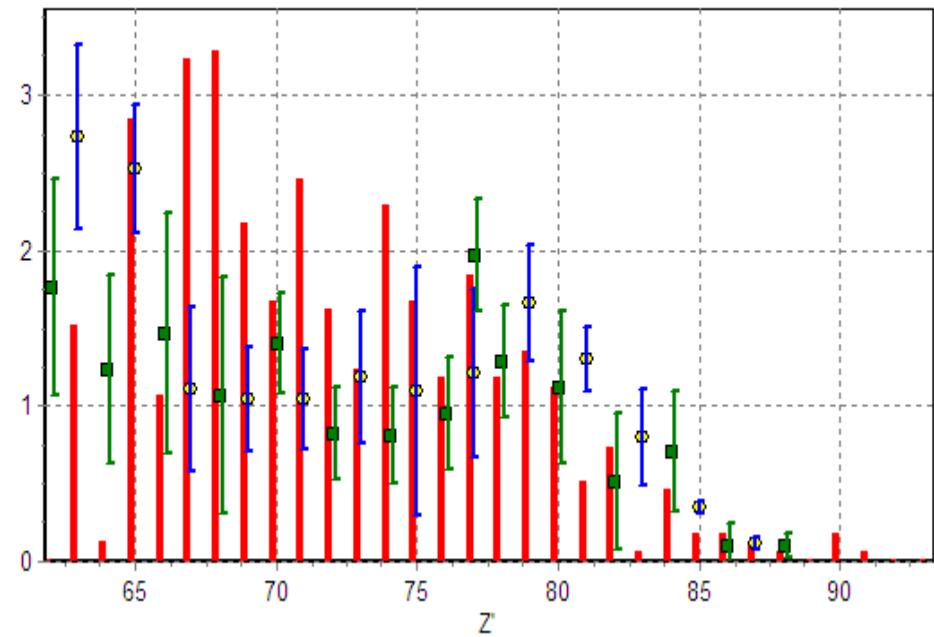


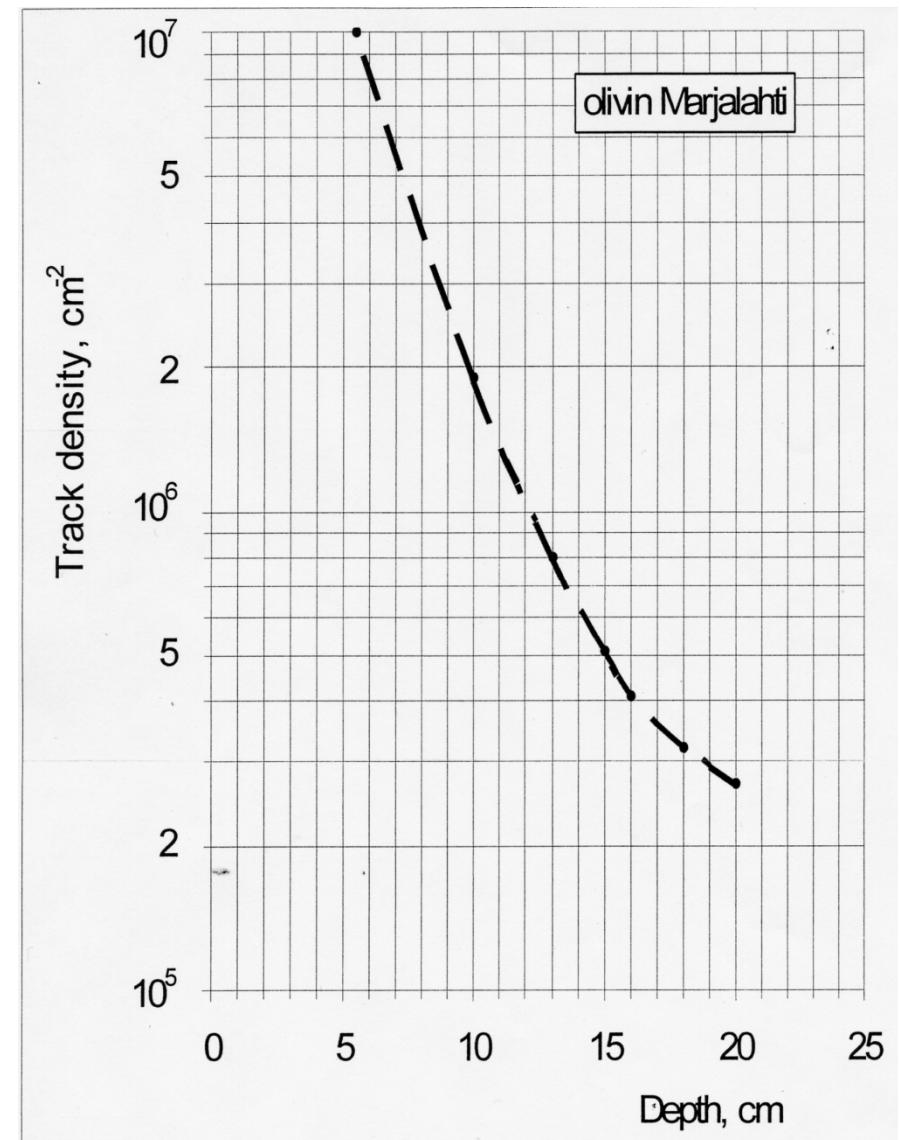
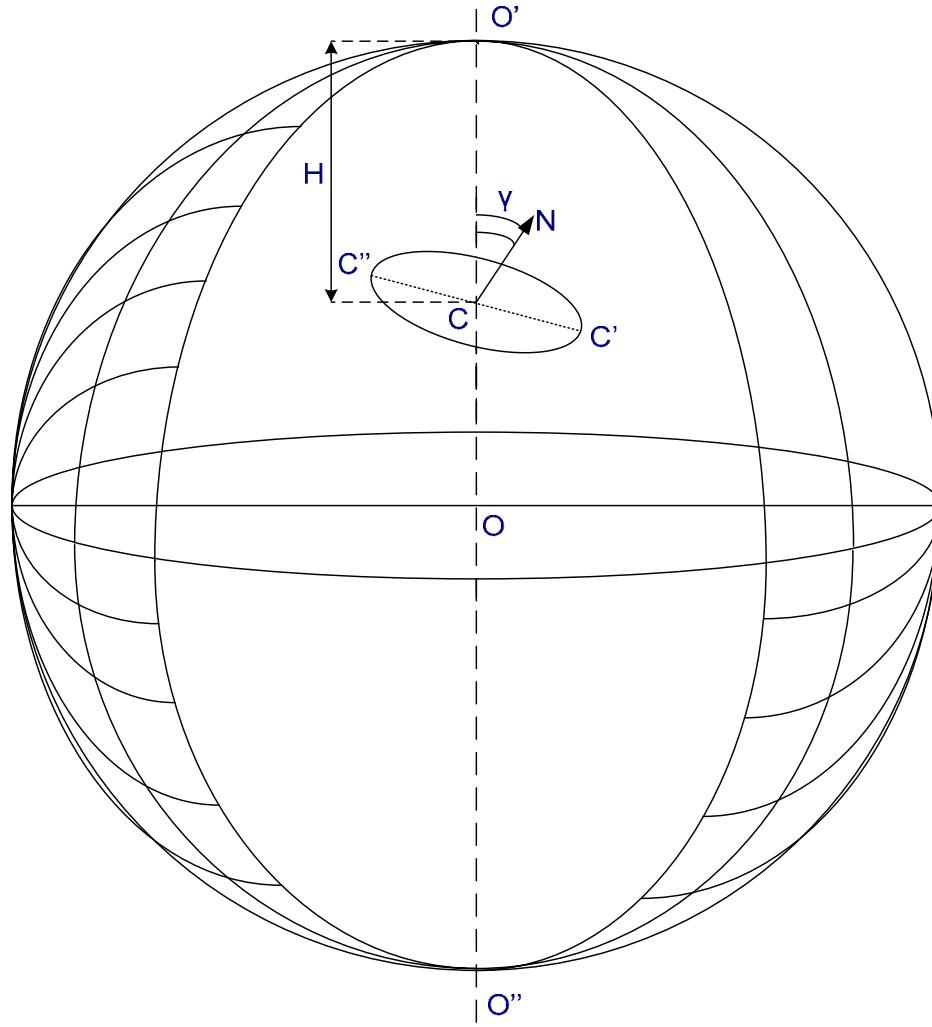
Распределения, смещённые на оси Z на 5 единиц
и нормированные на распространённость элементов
(Распространённость $_{26}\text{Fe}=10^6$).
Эксперименты: \circ – Ariel 6, \square - HEAO 3.

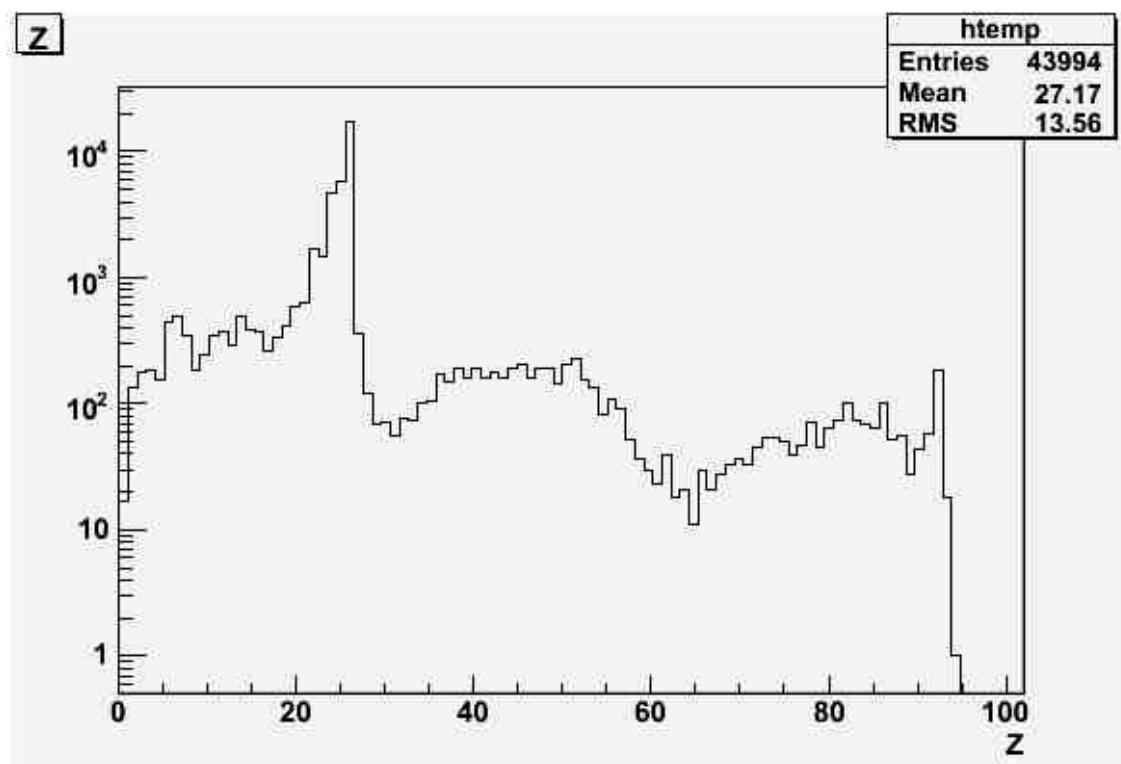
The abundance of elements in olivin from meteorites.



The abundance of elements in olivin from meteorites.







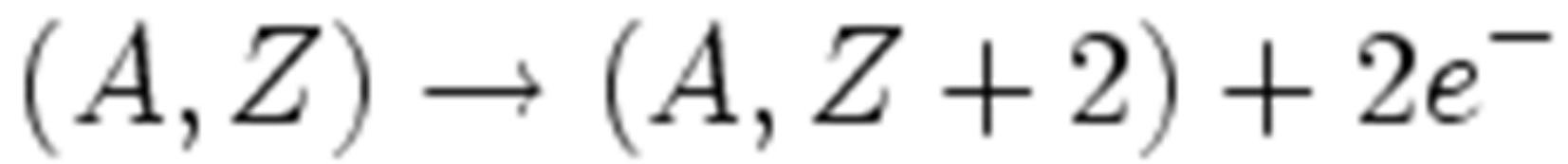
Разработана новая методика исследования характеристик треков ядер космического излучения в полном объеме кристаллов оливина из метеоритов (включая процедуры травления и измерения).

Проведен рентгеноструктурный анализ кристаллов оливина, выявивший отсутствие зависимости длины треков от направления кристаллографических осей.

Выполнены модельные расчеты прохождения тяжелых ядер через оливин. По калибровочным измерениям на пучке ядер Xe, U, Au с энергией 11.4 МэВ/н подтверждена правильность модельных расчетов и измерений.

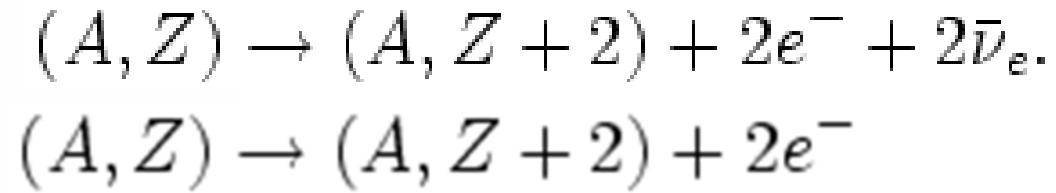
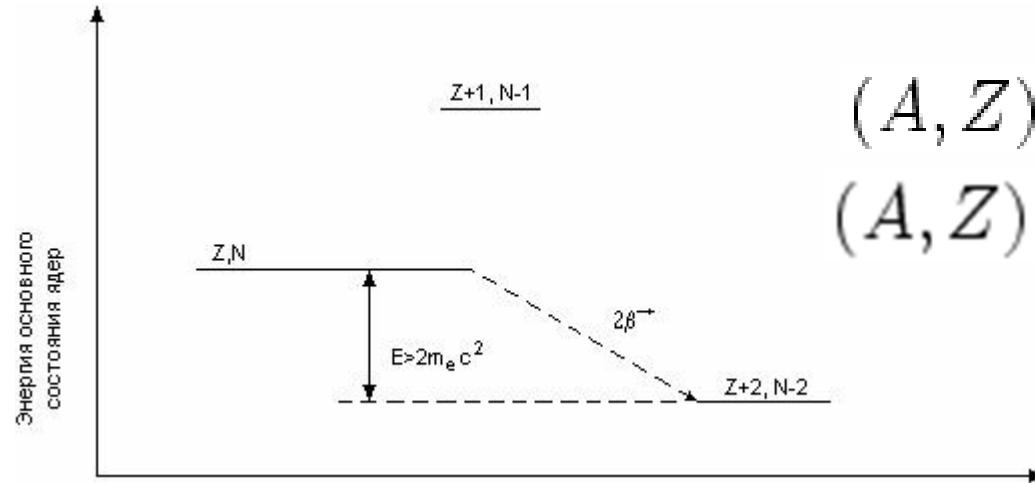
Разработана методика оценки первичной энергии галактических ядер. Разрабатывается методика учёта фрагментации ядер в объёме метеорита.

Получены распределения нижних значений зарядов 2716 ядер с $Z > 55$ в оливинах из метеоритов Marjalahti и Eaglestation.



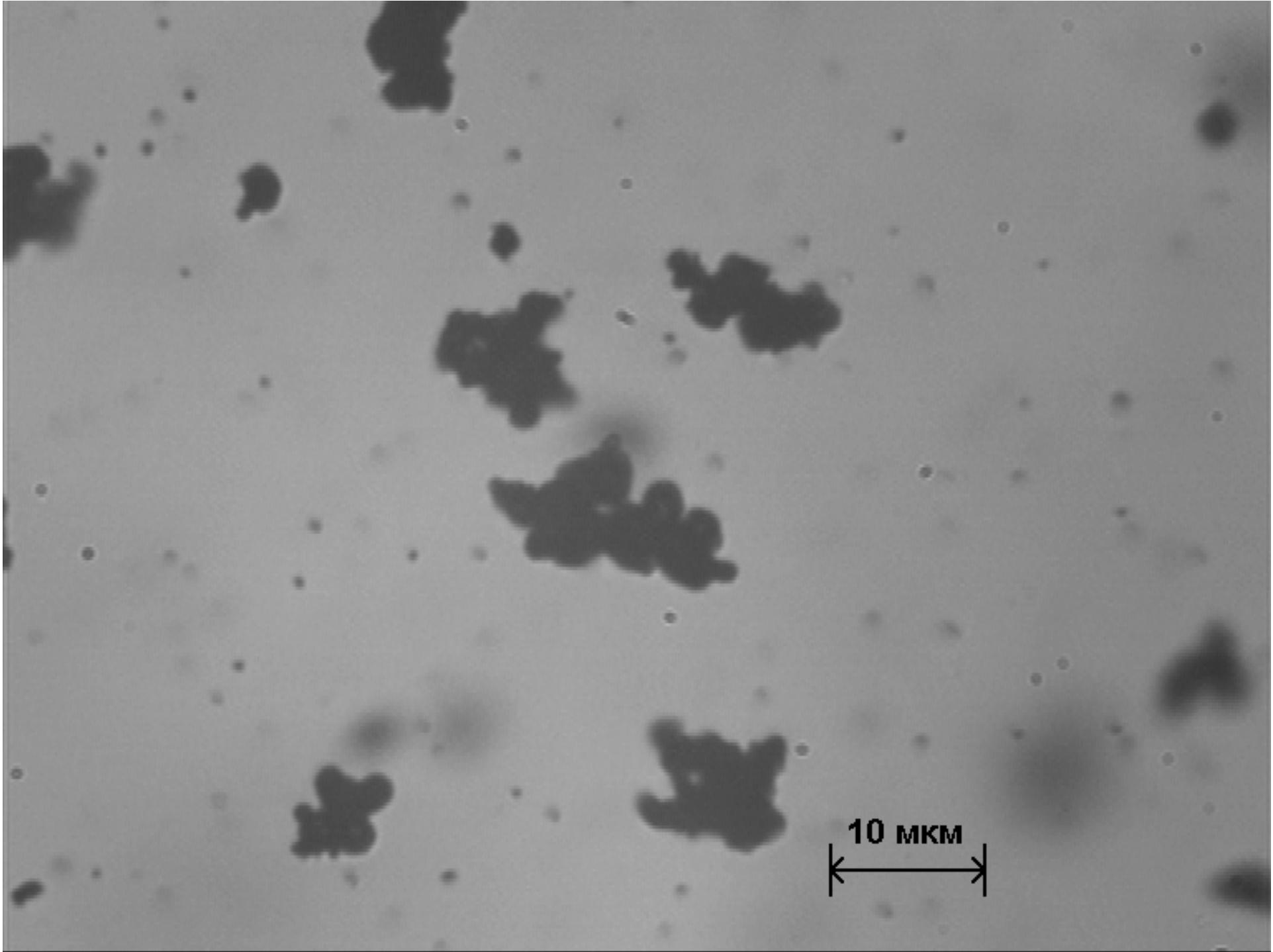
ПЕРСПЕКТИВЫ



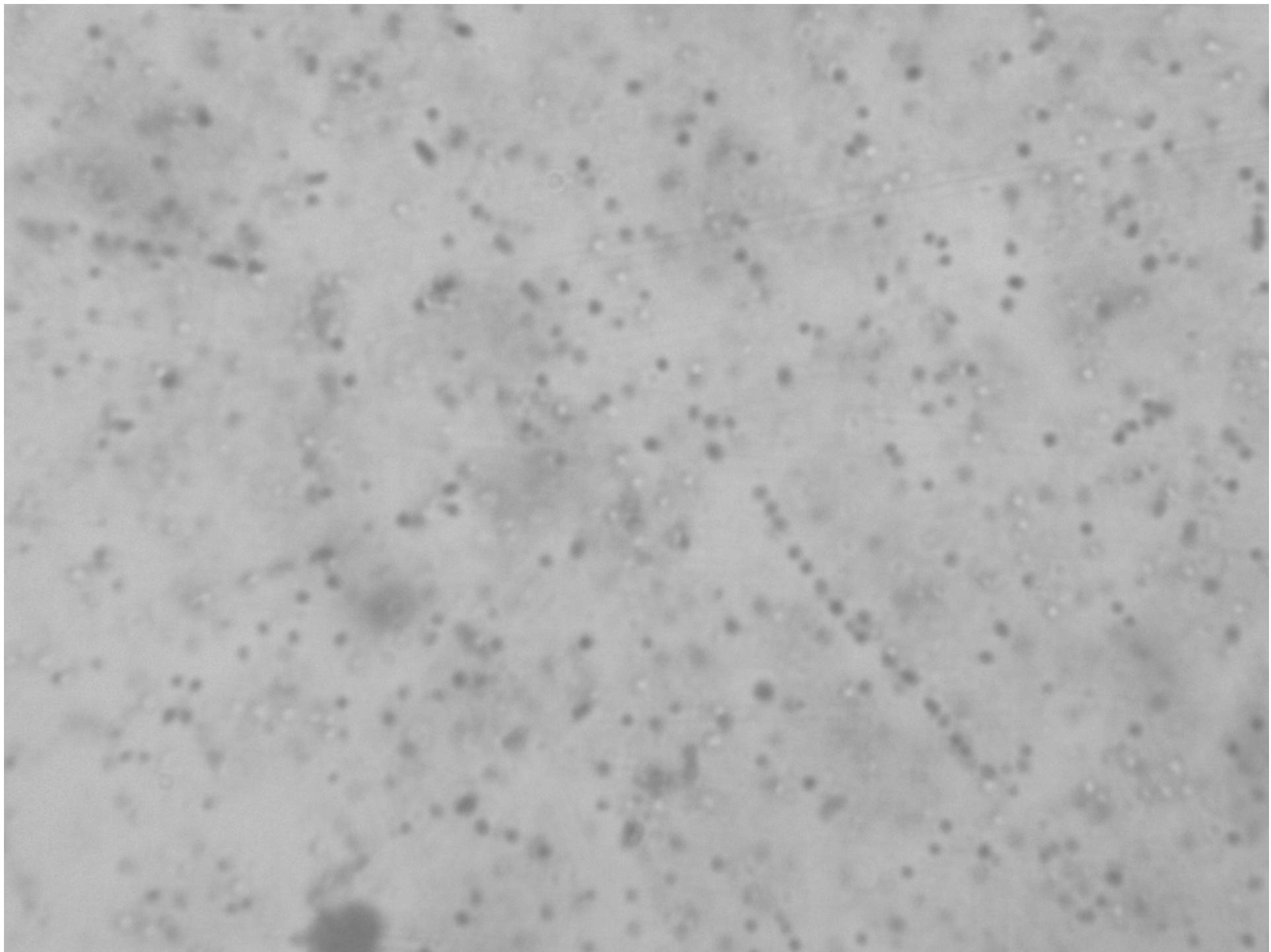


"...Всего за полвека из ускользающей сущности нейтрино превратилось в фундамент нашего существования... Произошла "нейтринная революция". Эта революция затрагивает самые фундаментальные основы мира, в котором мы живем. Она произвела переворот и в нашем подходе к физическим явлениям".
Я.Б. Зельдович, М.Ю. Хлопов,
1981 г.

1	^{46}Ca ^{46}Ti	0,0033 %	, 985±5
2	^{48}Ca ^{48}Ti	0,185	4271±5
3	^{70}Zn ^{70}Ge	0,62	1001±5
4	^{76}Ge ^{76}Se	7,67	2038±1
5	^{80}Se ^{80}Kr	49,82	135±15
6	^{82}Se ^{82}Kr	9,19	3005±15
7	^{86}Kr ^{86}Sr	17,37	1249±8
8	^{94}Zr ^{94}Mo	2,80	1148±7
9	^{96}Zr ^{96}Mo	17,40	3350±6
10	^{98}Mo ^{98}Ru	23,75	110±8
11	^{100}Mo ^{100}Ru	9,62	3032±9
12	^{104}Ru ^{104}Pd	18,50	1301±9

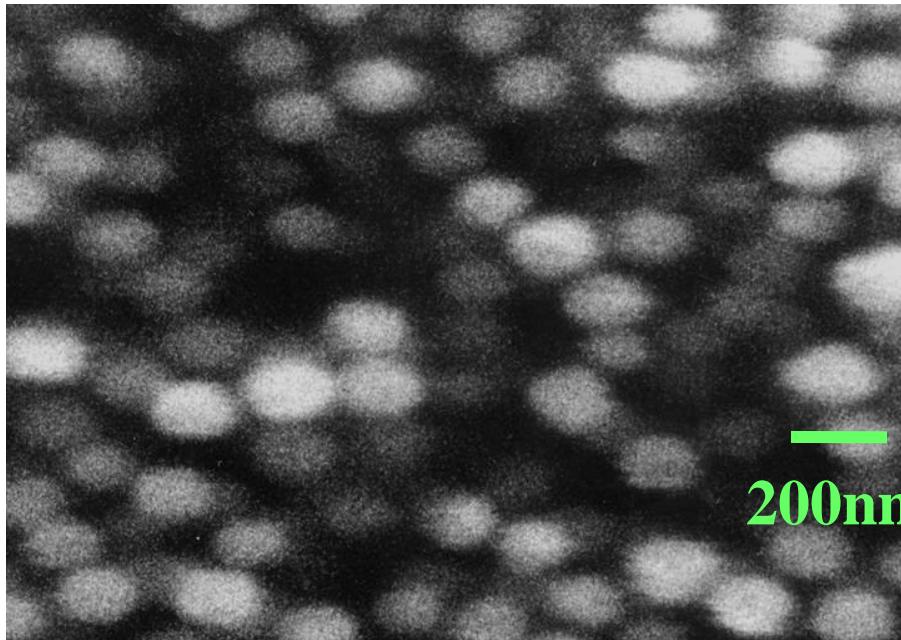


10 мкм



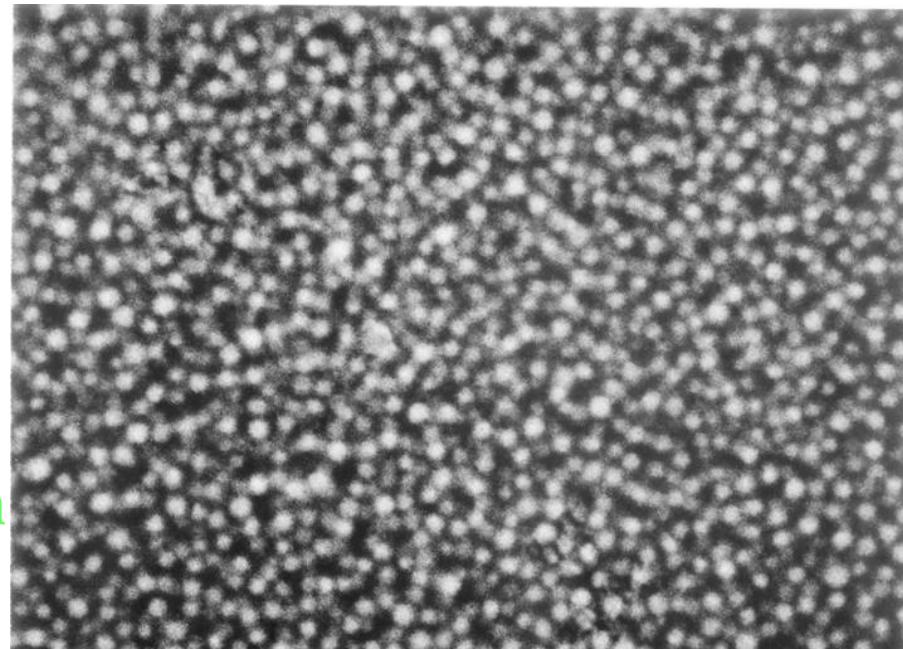
Наноразмерная ядерная эмульсия (Nano Imaging Tracker:NIT)

OPERA



OPERA:AgBr crystal size ~200nm
2.3 AgBr/ μm

NIT

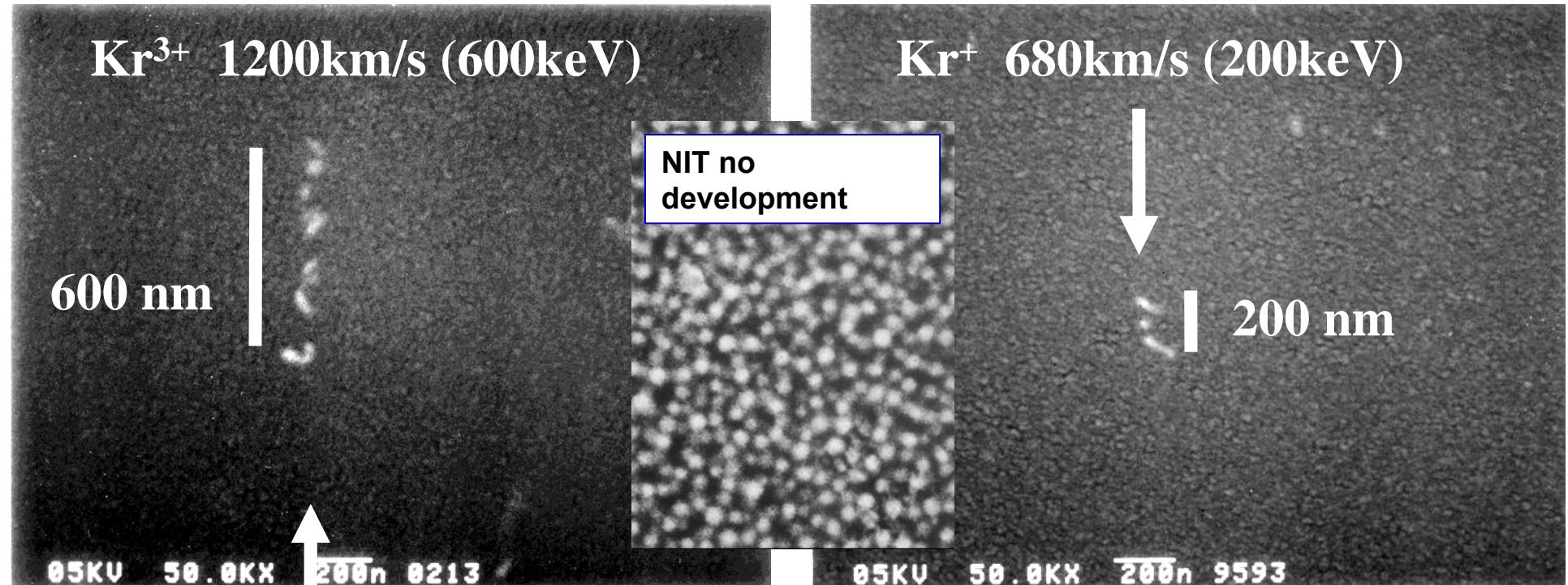


NIT:AgBr crystal size ~40nm
11 AgBr/ μm

5 times resolution for OPERA!

Tracking test by low velocity Kr

SEM image

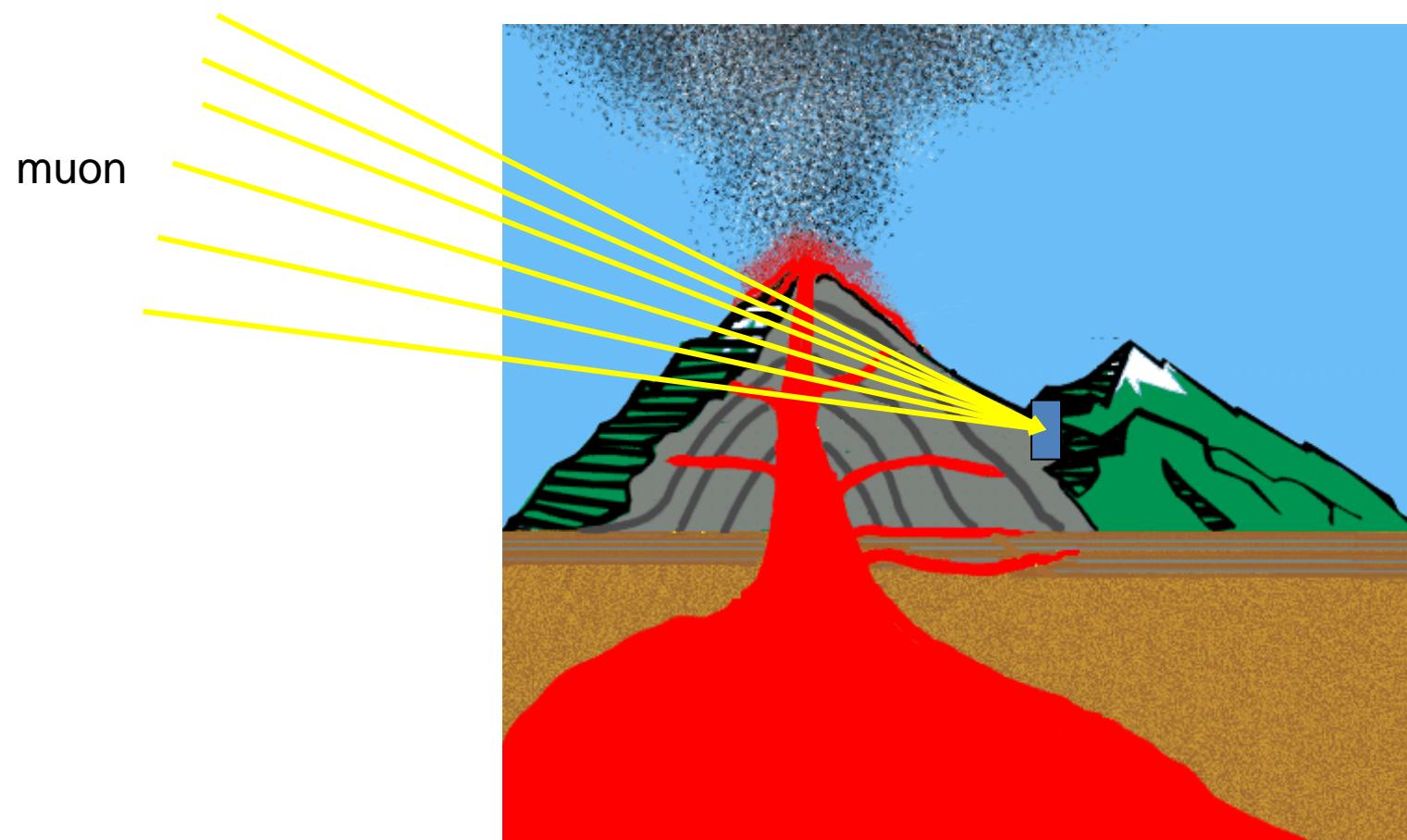


Supposition **Br** recoil

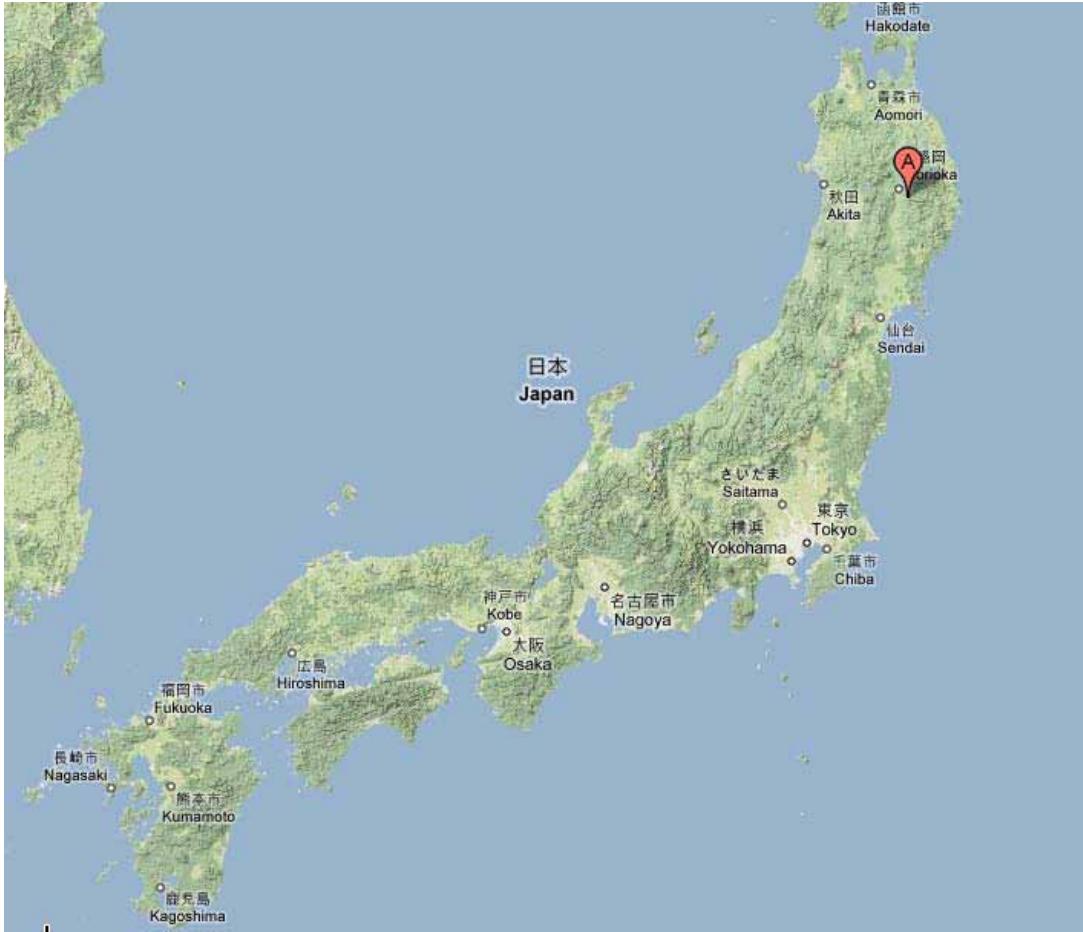
Области применения и преимущества мюонной радиографии

- Высокая проникающая способность.
- Отсутствие необходимости создавать искусственные источники излучения.
- Высокое разрешение и трехмерная картинка
- МР мониторинг установок ядерно-энергетического комплекса
- Фундаментальные научные задачи астрофизики и ядерной физики
- Неразрушающий МР контроль промышленных объектов (доменные печи), опор мостовых конструкций.
- Альтернативный геофизическим методам способ анализа сейсмических процессов.

Principle



Горы Iwate, Япония

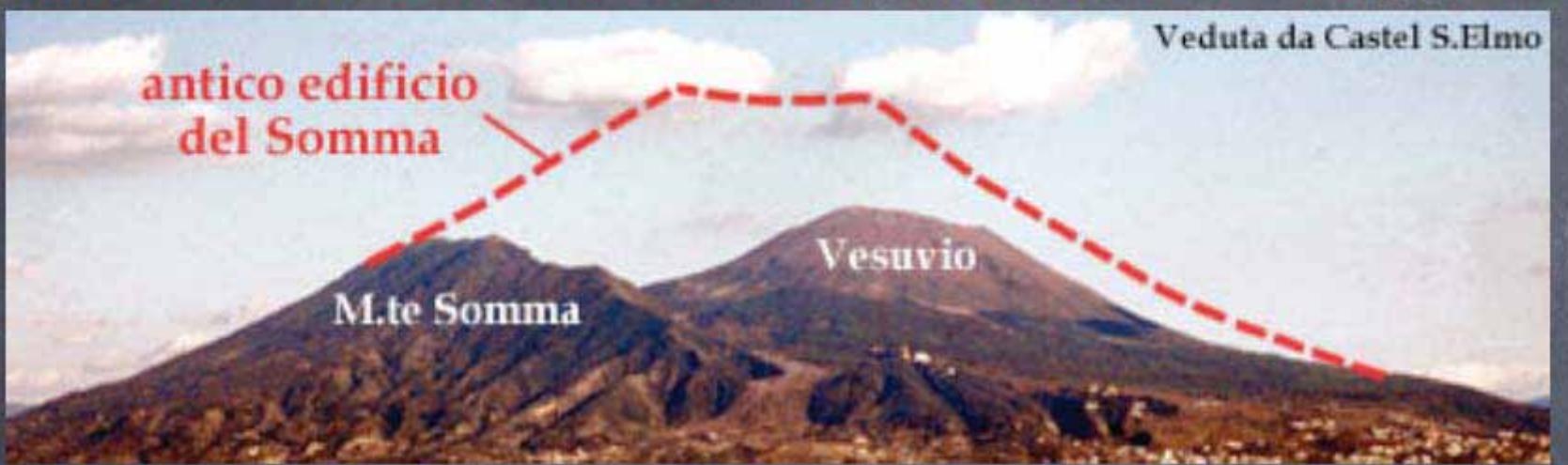


Измерения внутренней структуры действующего вулкана горы West Iwate.

Измерили плотность области, расположенной на глубине 160 м под пиком горы Kurokura и сравнили с гравиметрическими (весовыми) данными.

Измерения внутренней структуры действующего вулкана горы West Iwate.

Main features of Mt. Vesuvius

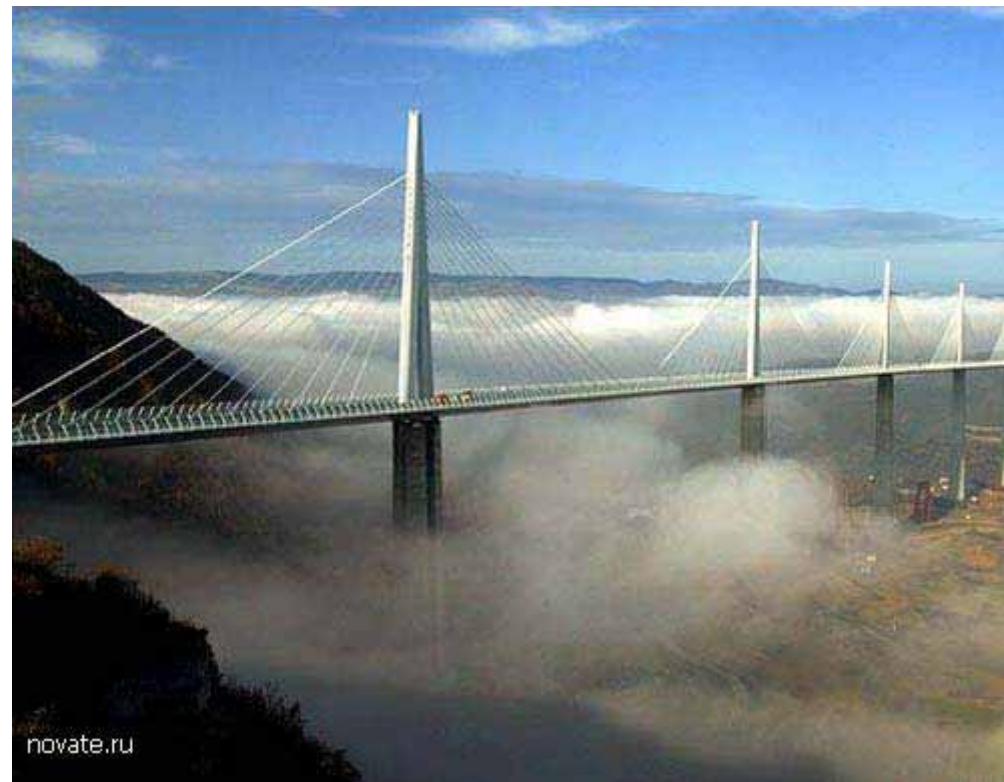


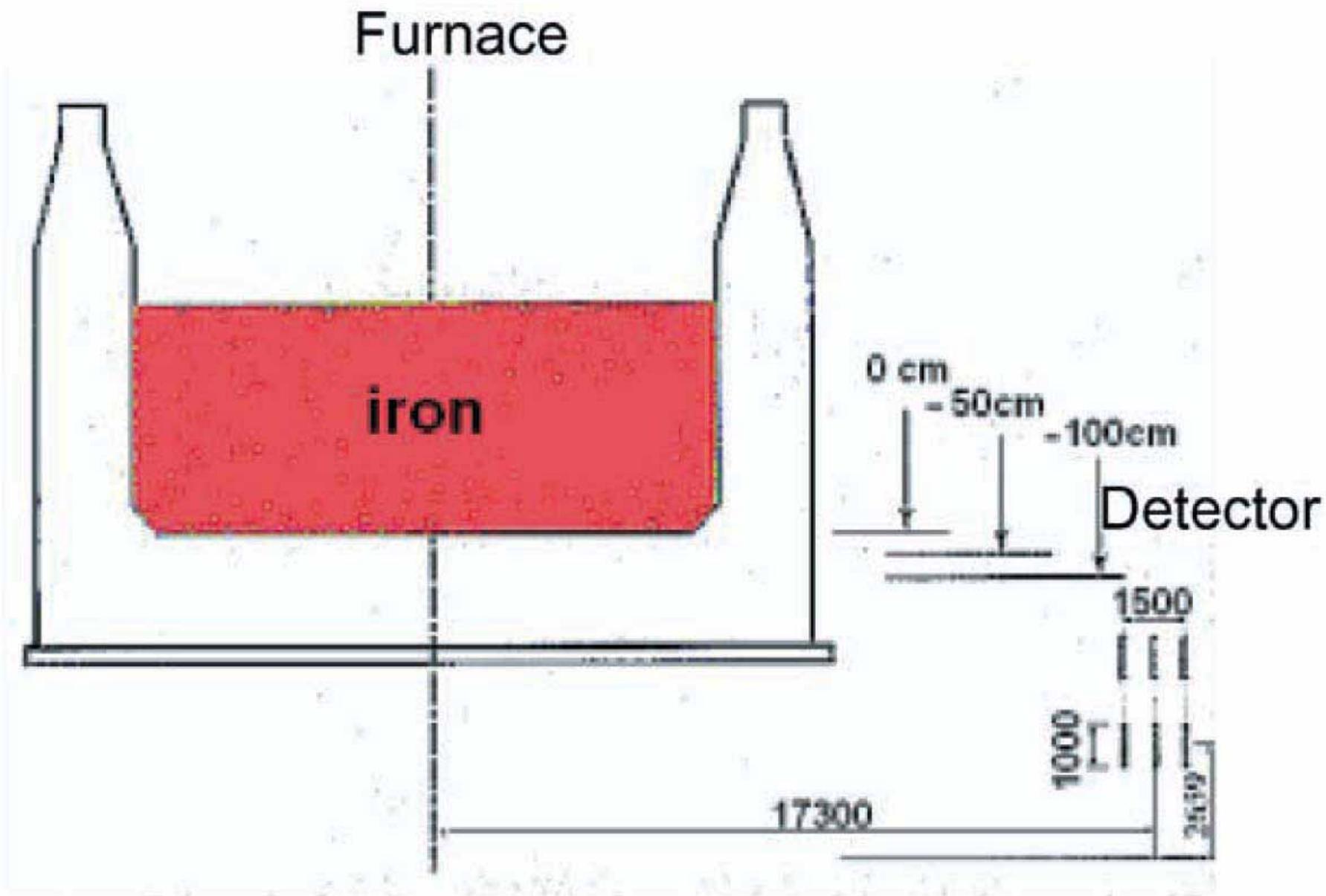
- ⦿ Mt. Vesuvius is an active volcano (since 1944 quiescent), 1280m high
- ⦿ Grown in the caldera of an older, larger volcano (Mt. Somma)
- ⦿ Muon radiography is a challenge, due to its morphology :
Mt. Somma, secondary cones (Colle Umberto), deep crater
- ⦿ Mt. Vesuvius is among the most monitored volcanoes in the world.
At present, the monitoring system does not give signs of notable activity. But look at (relatively) recent history

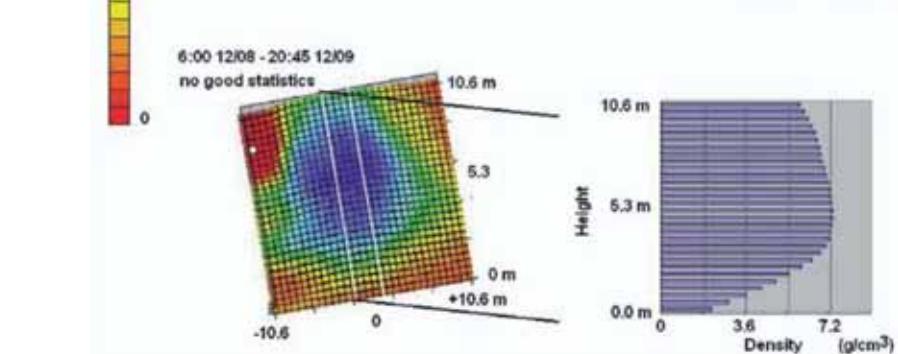
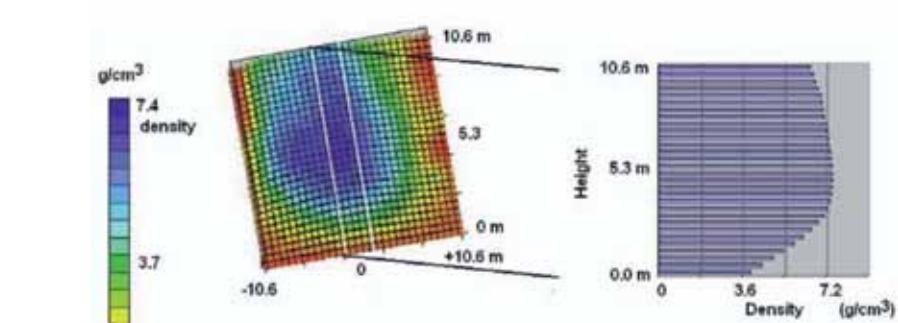
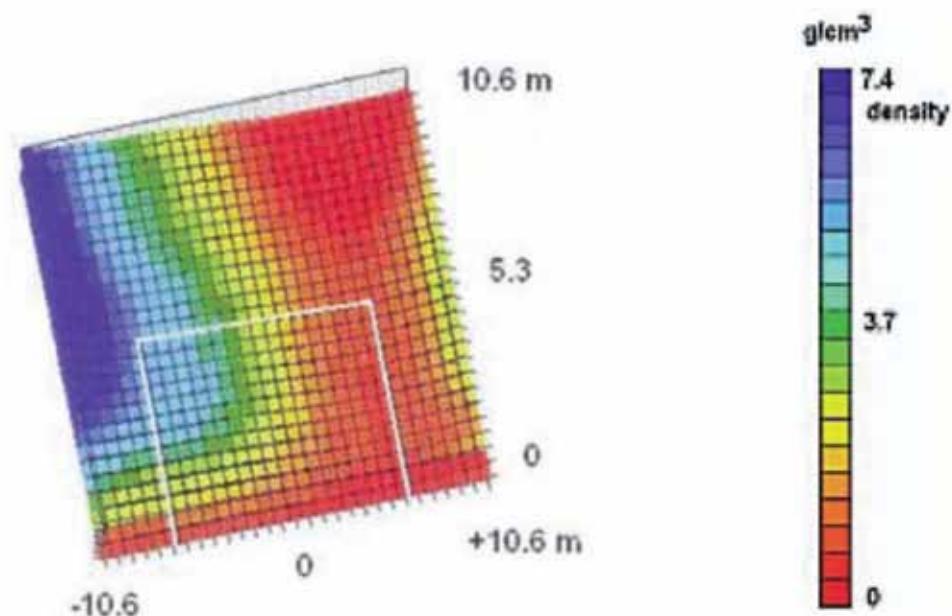
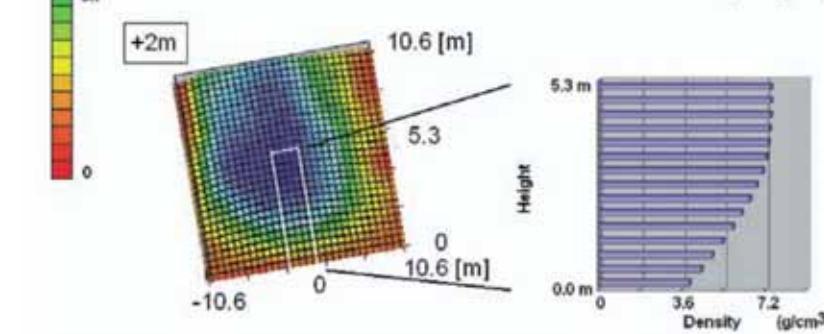
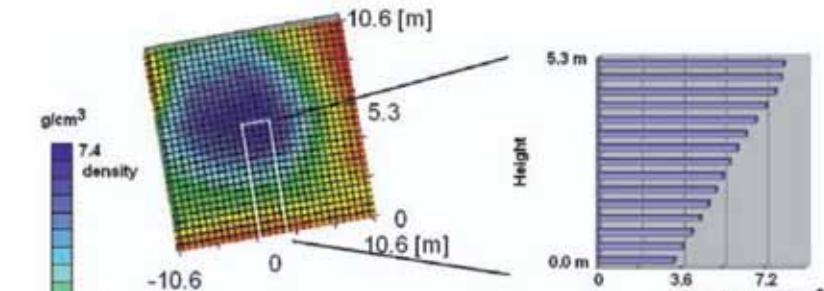
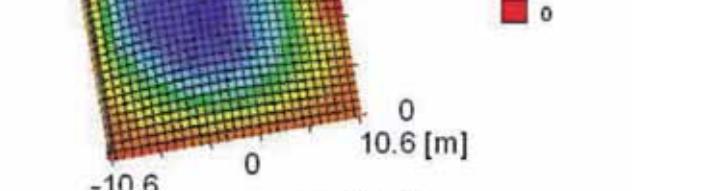
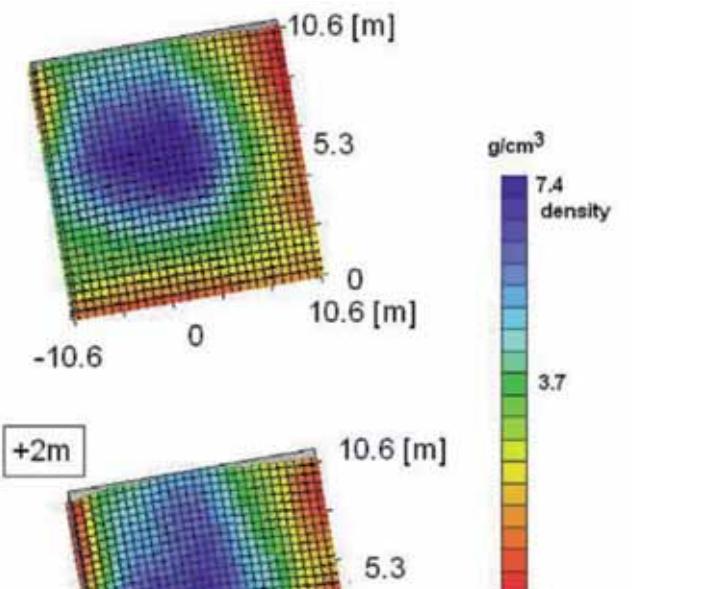




Неразрушающий МР контроль промышленных объектов (доменные печи, опоры мостовых конструкций).











10.09.20

ОАО «Компания Славич»



Экспериментальная
установки для приготовления
растворов компонентов для
производства нанодисперсий.

- Фотография «чистой» термостатированной комнаты для изготовления лабораторных образцов наноматериалов









Группа ПАВИКОМ:

4 доктора физ.-мат. наук;
8 кандидатов физ.-мат. наук;
10 научных сотрудников, инженеров,
механиков, лаборантов.

В том числе 6 молодых сотрудников ФИАН
(19 – 29 лет).

За период 2000-2009 г. на ПАВИКОМ защищены 3 кандидатских и 1 докторская диссертация;

27 сентября 2010 г. – защита докторской диссертации.

Сотрудничество:

НИИЯФ МГУ, ГЕОХИ РАН, ИТЭФ, ОИЯИ, ИЯИ РАН, С-ПФТИ РАН, ИФХЭ РАН, ТПУ, ЦНИИМАШ, Курчатовский институт

Бернским университетом (договор);

Национальным Институтом Ядерной физики (Неаполь, Гран-Сассо, двусторонние связи);

Университетом Нагоя (двусторонние связи);











09.09.2008 11:00

