

36 Всероссийская конференция по космическим лучам



Национальный исследовательский
ядерный университет «МИФИ»

Научно-образовательный центр НЕВОД



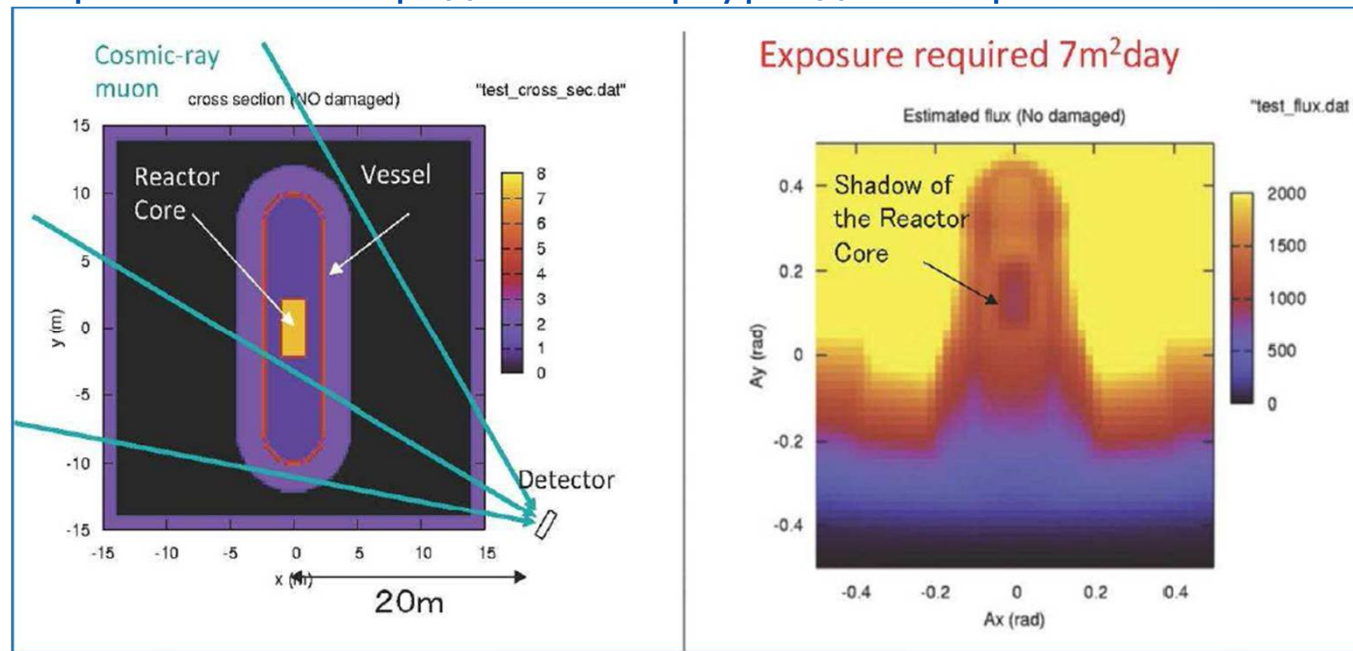
Тестирование элементов мюонного томографа на сцинтилляционных стрипах с оптоволоконным светосбором

Яшин И.И, Киндин В.В., Компаниец К.Г.,
Пасюк Н. , Целиненко М.

Москва, 2020 г.

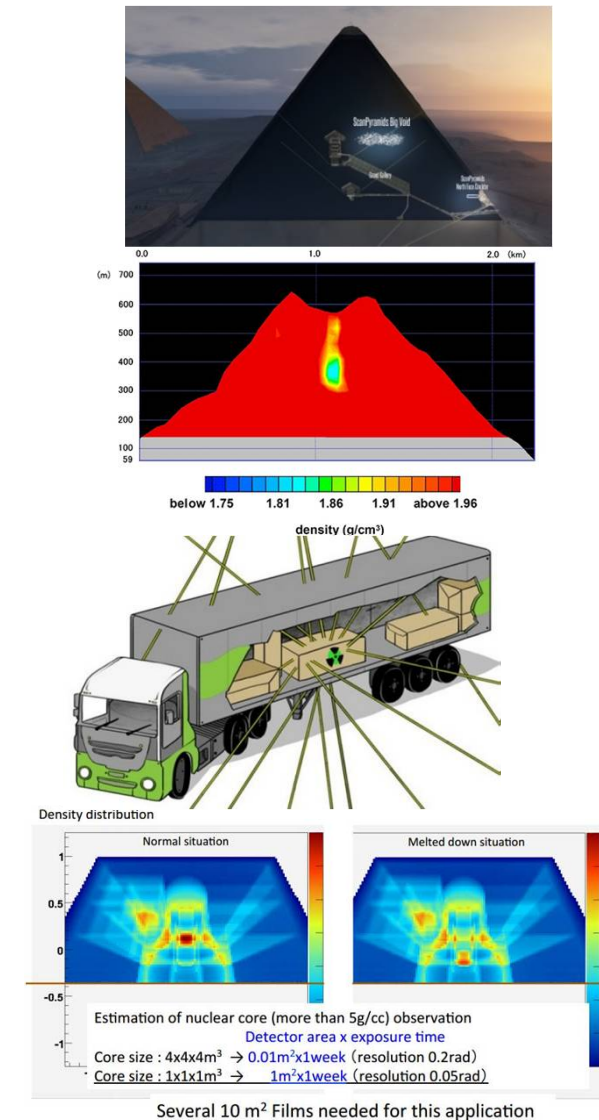
Мюонная томография

- Использует тот же подход, что и рентгенография: поглощение и рассеяние потока мюонов (вместо рентгеновских лучей) при прохождении через вещество.
- Преимуществом метода является использование излучения естественного происхождения, обеспечивающее его неинвазивность.
- Подход основан на регистрации с помощью мюонных годоскопов потока мюонов космических лучей, проходящих через исследуемый объект, по всем направлениям в пределах апертуры детектора



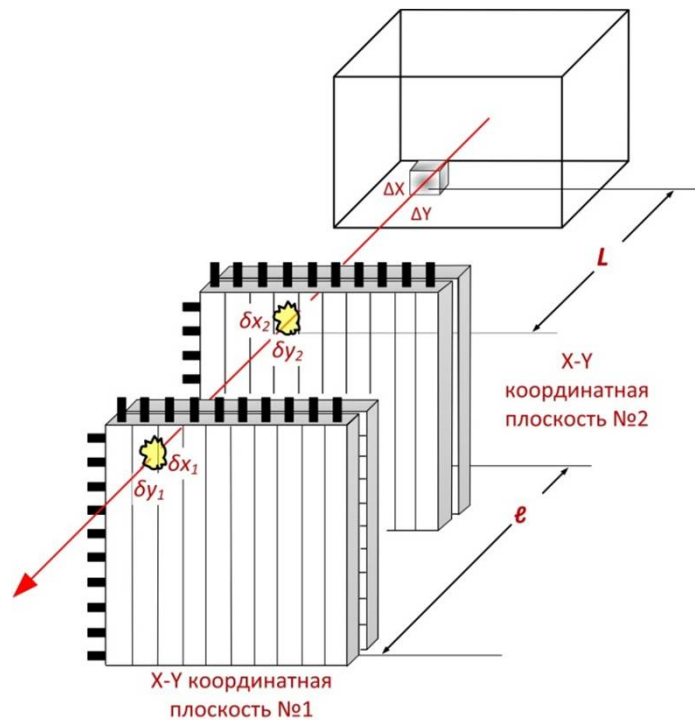
Мюонная томография - статус

- Изучение структуры египетских (Хеопса, Хефрена и др.) и мексиканских (Теотиуакан) пирамид.
- Картирование внутренней структуры вулканов (Везувий, Стромболи, Этна и Пюи де Доме, Сатсума-Иводжима) для оценки уровня магмы.
- Мониторинг подземных вод, особенно в районах, подверженных оползням и сильным осадкам.
- Предотвращение несанкционированного перемещения тяжелых делящихся веществ.
- Мюнография расположения ядерного топлива в аварийных реакторах АЭС Фукусима-1.
- Мюнография промышленных объектов (домны и др.)



Физические принципы мюонной томографии

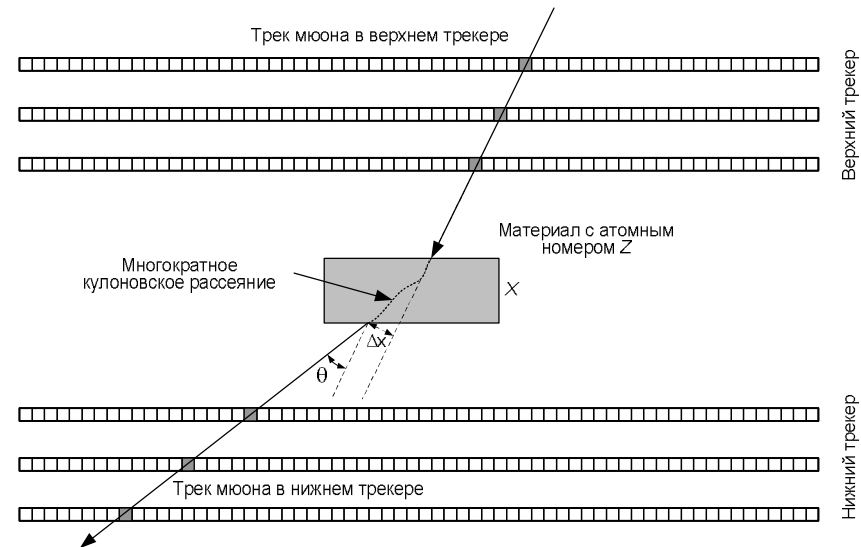
Метод мюонной томографии на основе потерь мюонов в веществе (поглощение потока мюонов)



Разрешение метода:

$$\Delta X, \Delta Y = (L/l)\delta x, (L/l)\delta y$$

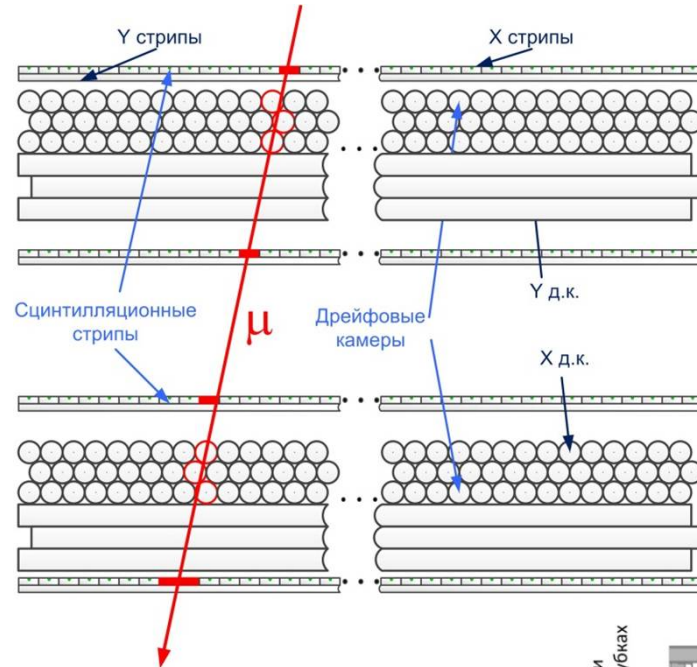
Метод мюонной томографии на основе анализа многократного кулоновского рассеяние мюонов



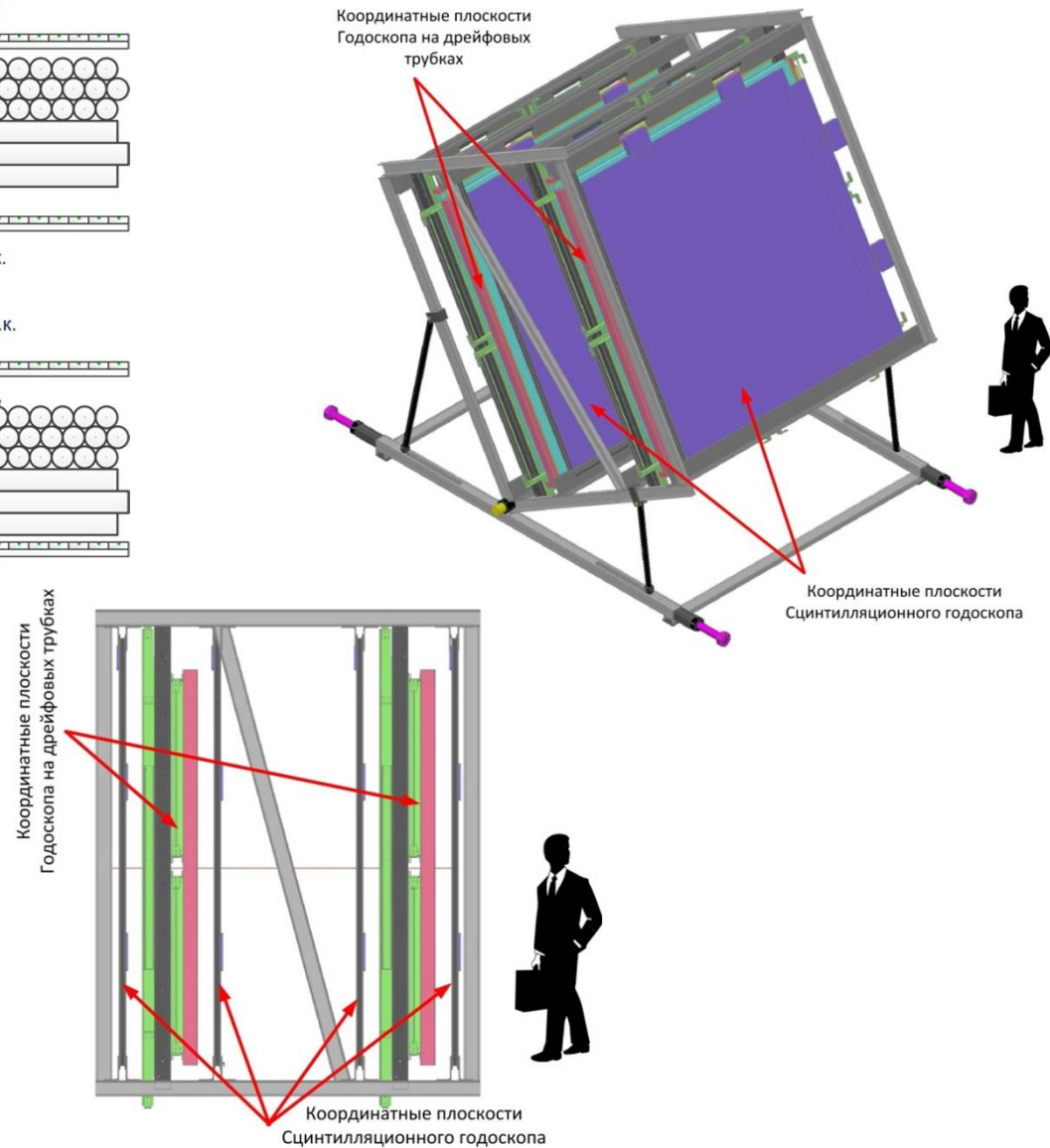
$$\theta_0 = \frac{14.1 \text{ МэВ}}{p\beta} \sqrt{\frac{l}{X_0}}; \quad \sigma_\theta = \frac{14.1 \text{ МэВ}}{p} \sqrt{\frac{l}{X_0}}$$

Мюонный томограф

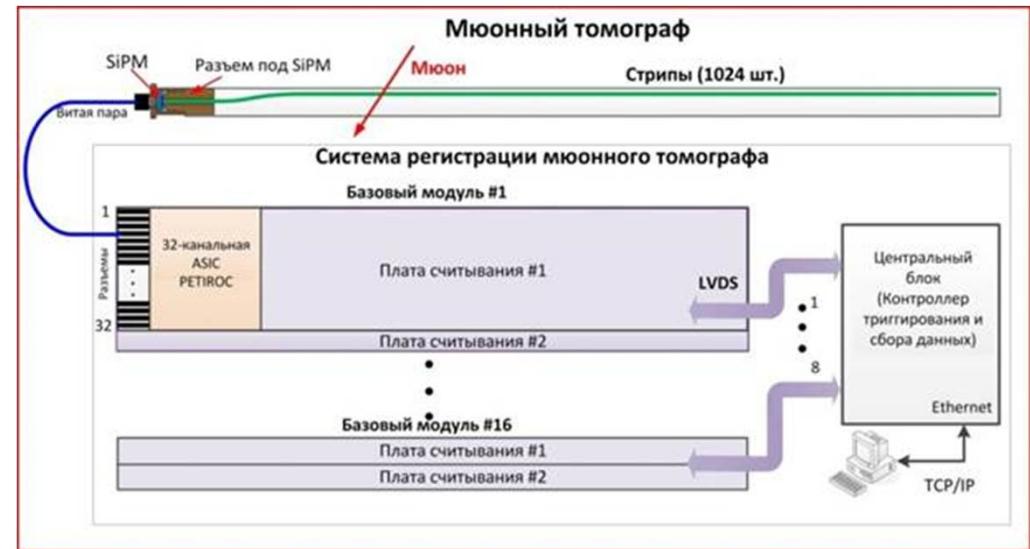
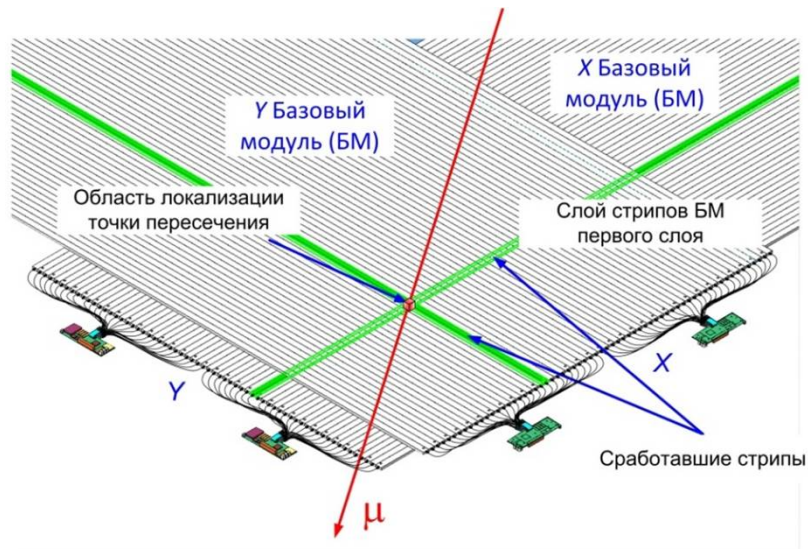
Схема гибридного мюонного томографа



Общий вид мюонного томографа

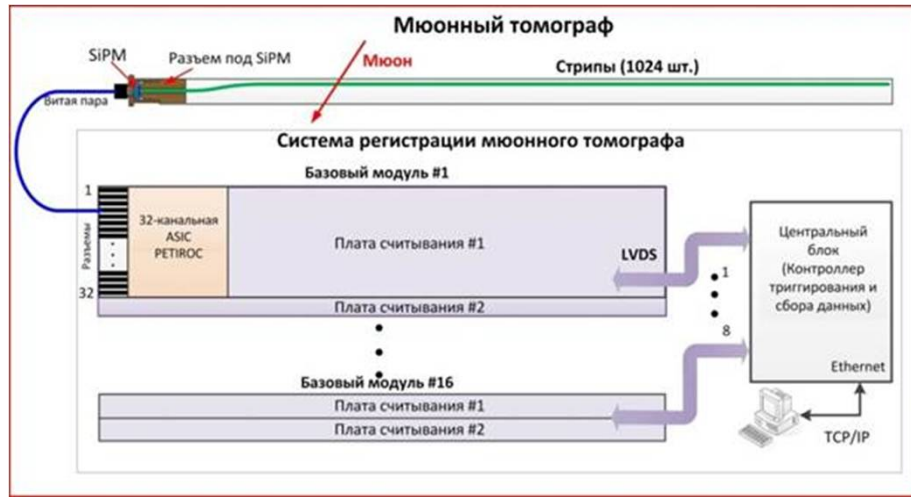


Базовый модуль сцинтилляционного детектора мюонного томографа

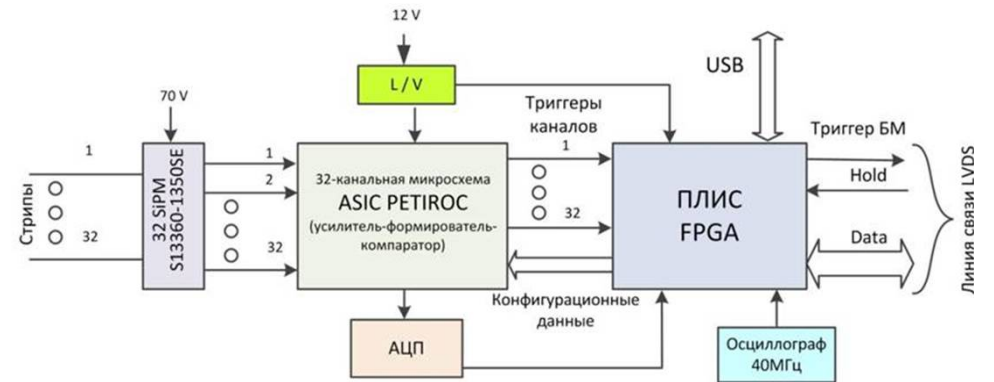


- Годоскоп состоит из четырех координатных плоскостей ($\Delta X; \Delta Y: 7 \times 7$ мм)
- Координатная плоскость (КП) состоит из 4 базовых модулей (БМ)
- Базовый модуль - 64 сцинтилляционных стрипа с оптоволоконным светосбором на SiPM ((3000×23×7 мм).
- Сигналы со стрипов БМ считываются 2-мя платами на основе ASIC Petiroc

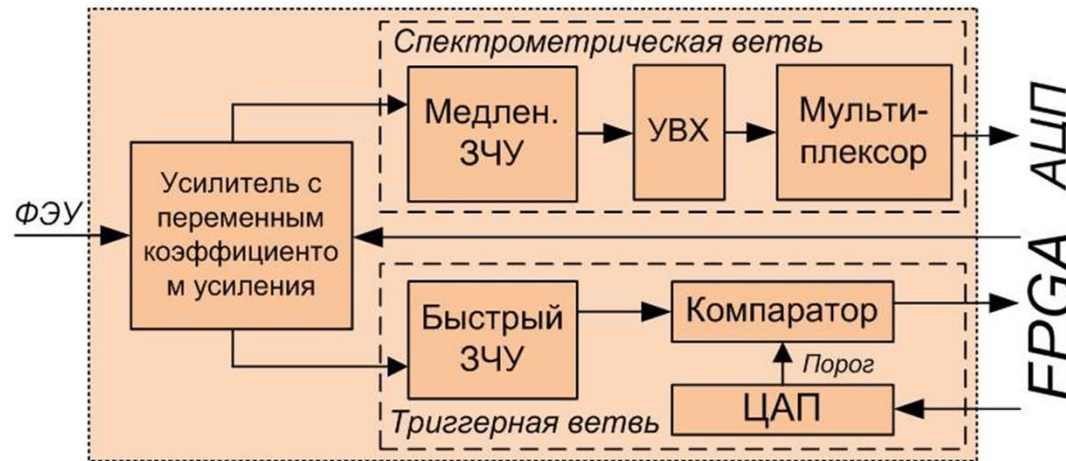
Плата считывания базового модуля



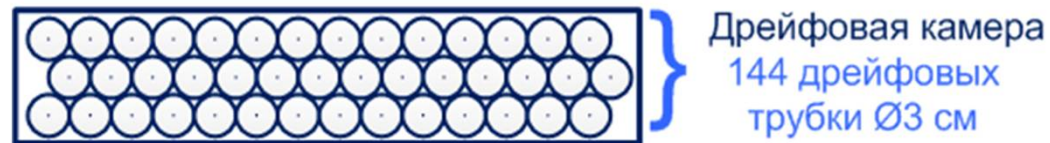
Блок-схема



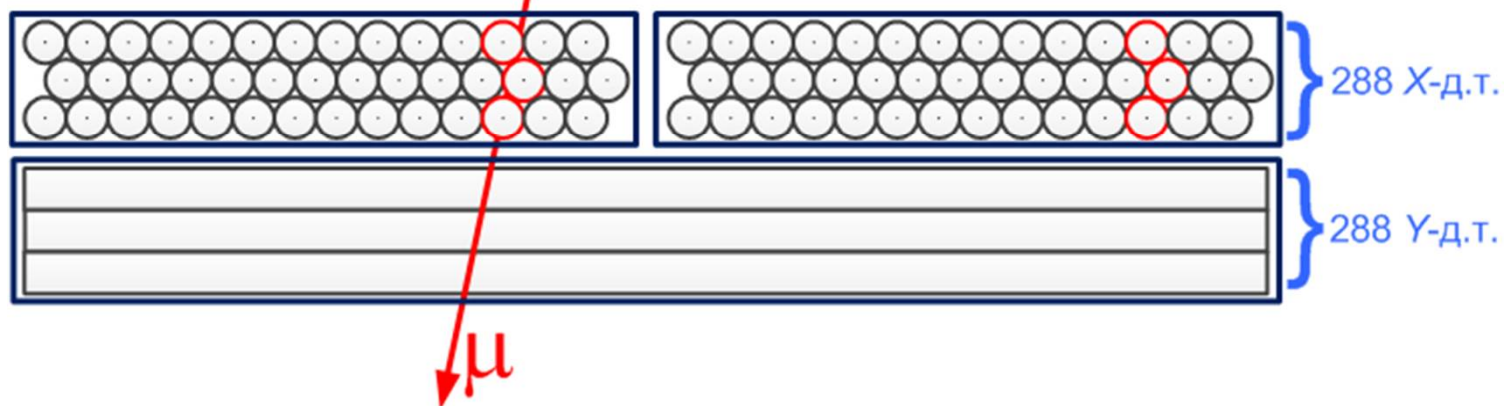
Блок-схема одного канала



Координатная плоскость дрейфовых камер



Координатная плоскость Д.К.

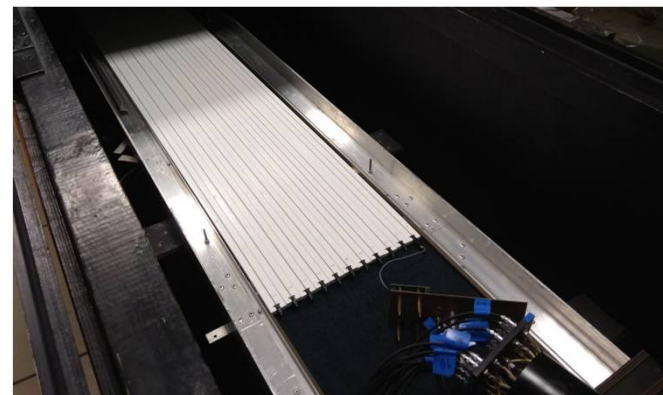


Координатная плоскость: 4 Д.К.

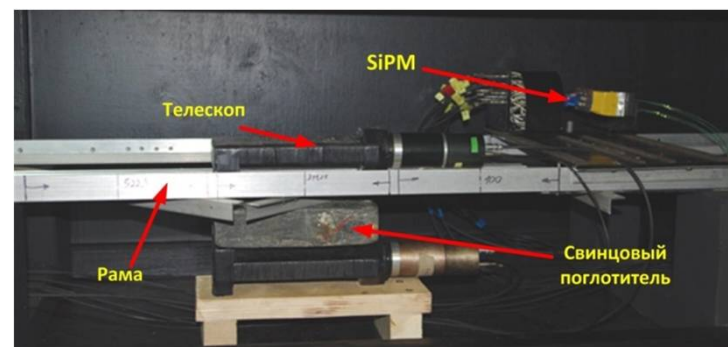
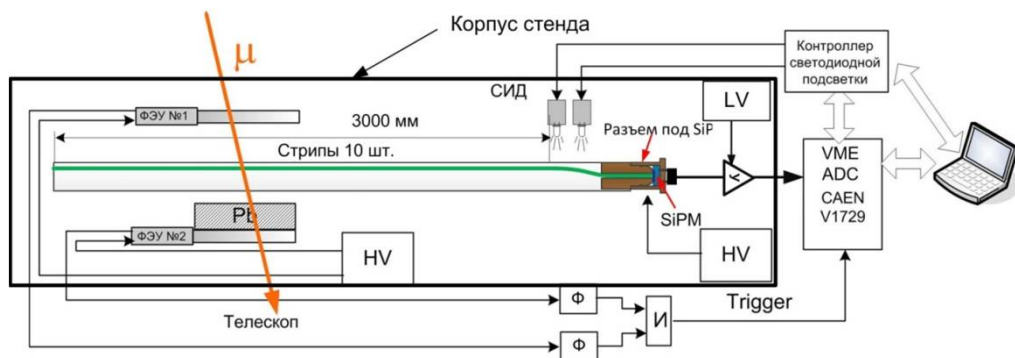
Мюонный томограф: 2 К.П. на Д.К.

Одна дрейфовая камера обеспечивает пространственную точность не хуже 0.5 мм.

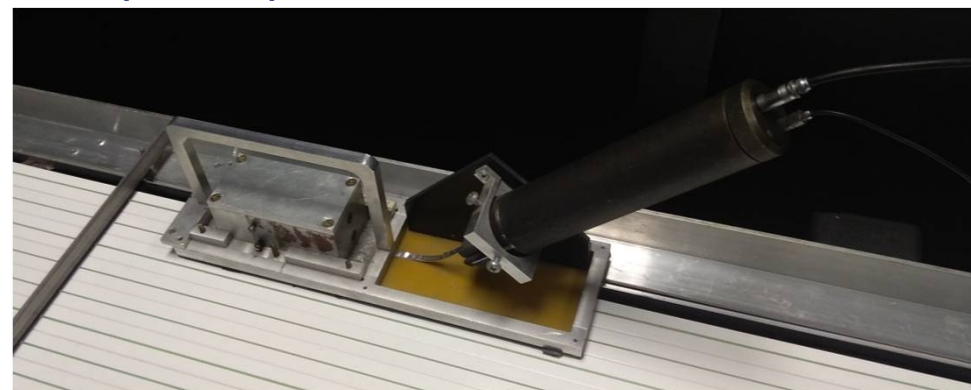
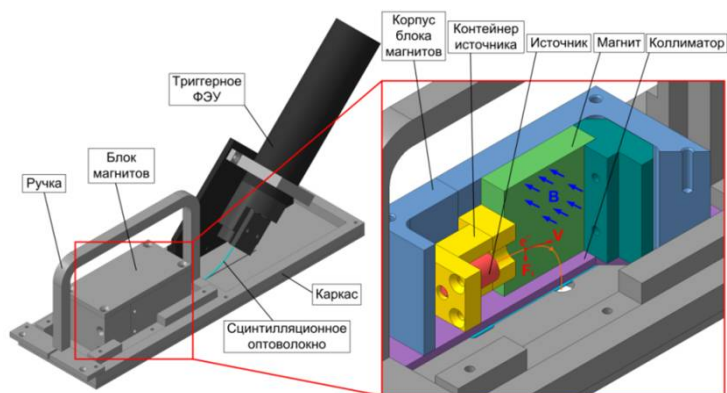
Стенд для тестирования стрипов



Мюонный телескоп

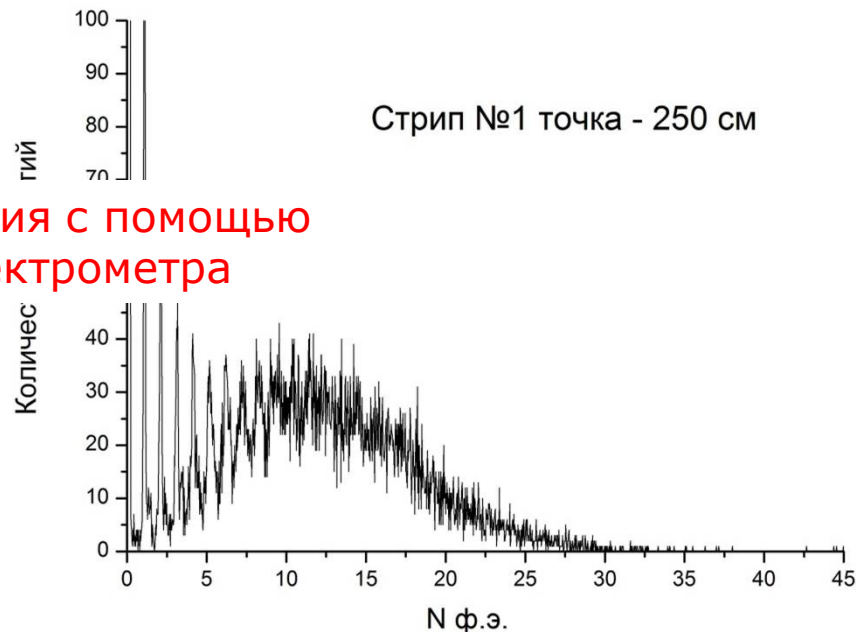
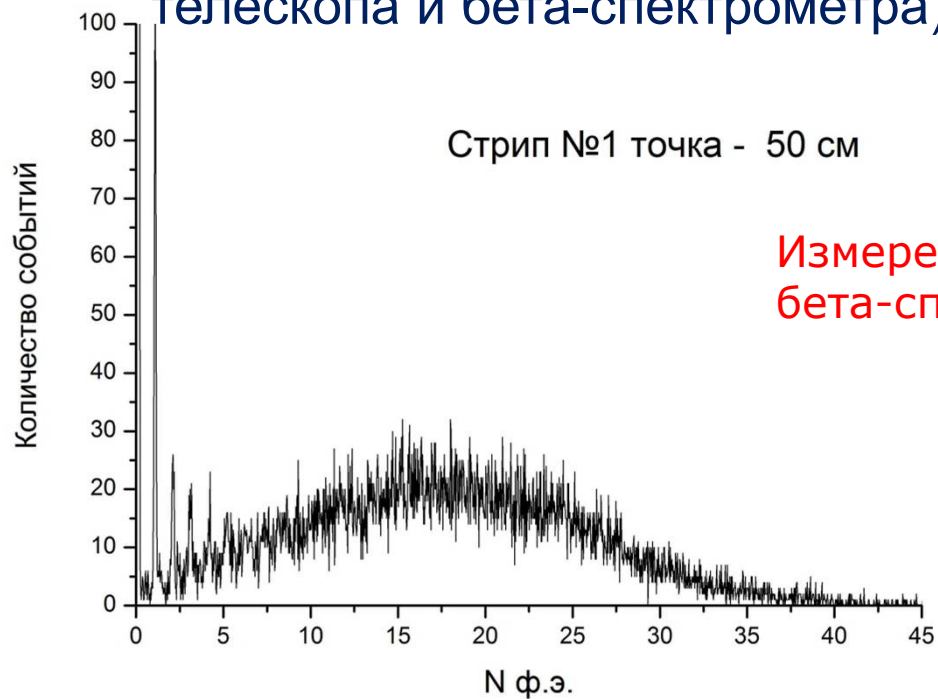


Бета-спектрометр



Тестирование стрипов

Измерения проводятся в двух точках (с помощью мюонного телескопа и бета-спектрометра): 50 см от SiPM и 250 см.



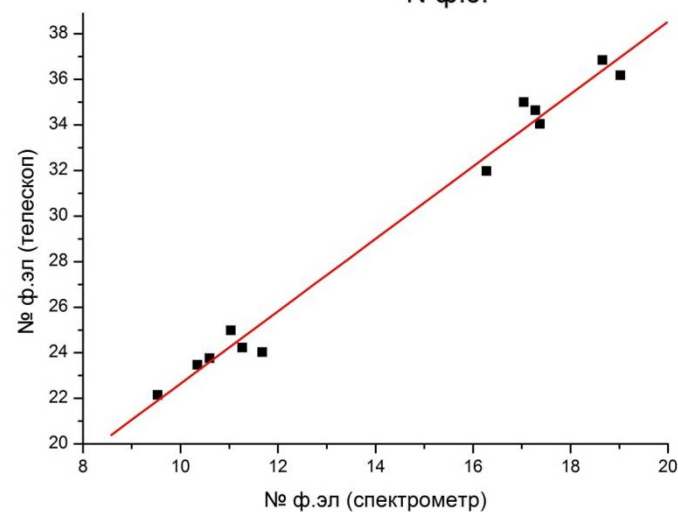
Измерения с помощью бета-спектрометра

Калибровка

Отношение телескоп/спектрометр:

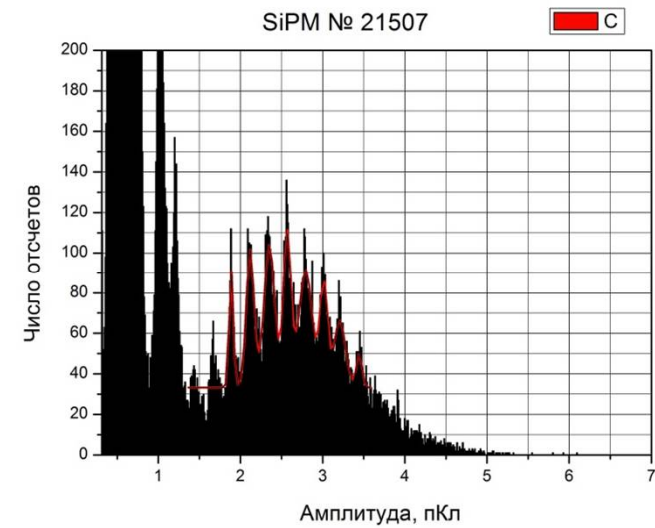
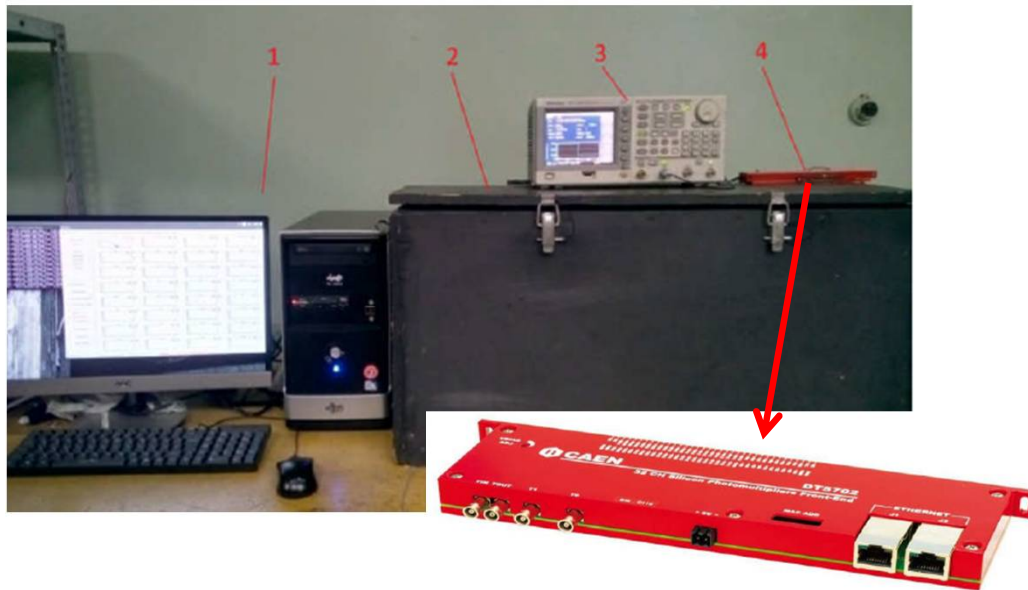
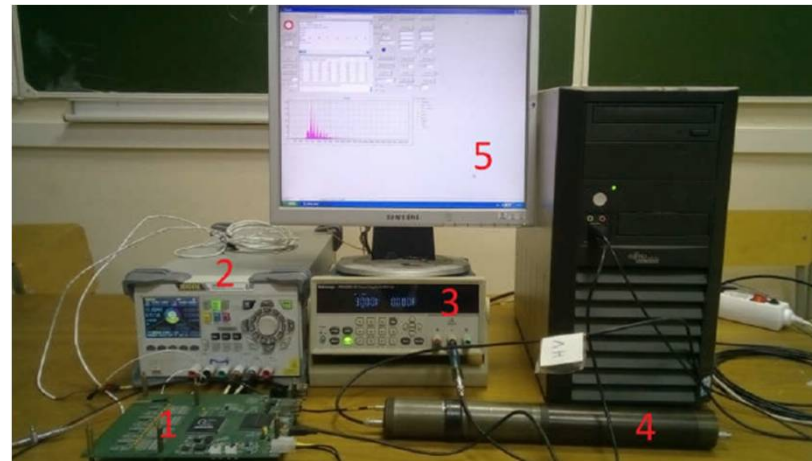
$$N_{\text{мюоны}} = A + B \times N_{\text{электроны}}$$

где $A=6.75 \pm 0.13$, $B=1.59 \pm 0.01$



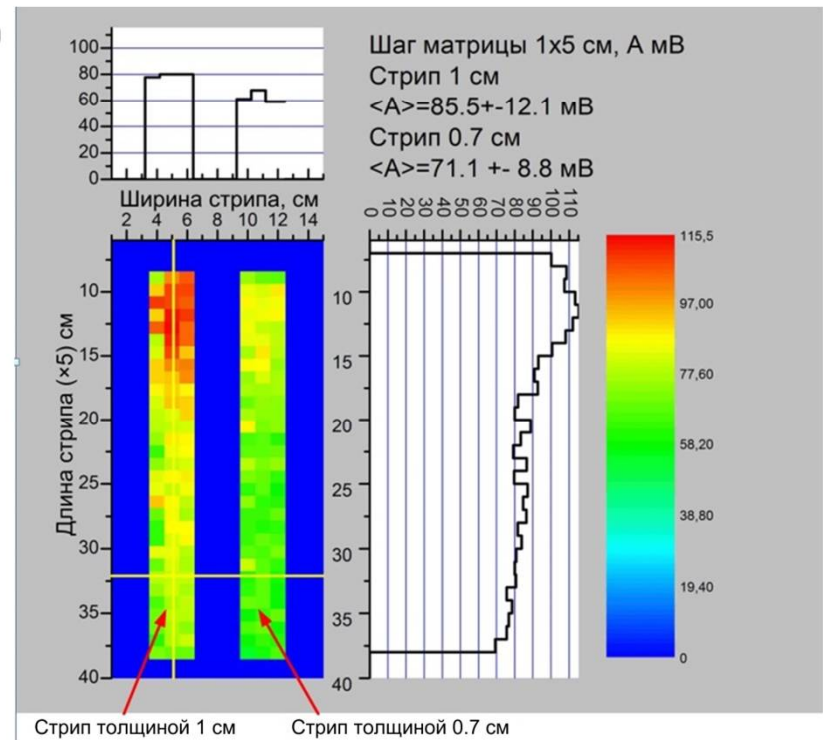
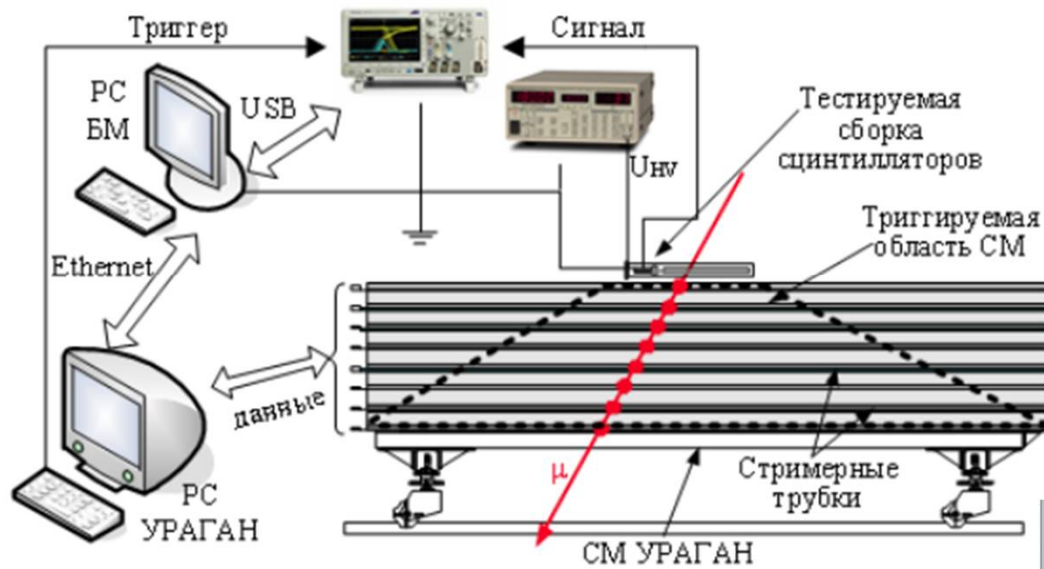
Тестирование кремниевых фотоумножителей

SiPM HAMAMATSU S13360-1350CS.



32-канальная плата считывания SiPM на базе ASIC Citiroc CAEN DT5702

Тестирование на МГ УРАГАН



Заключение

- Разработан мюонный годоскоп, который может быть использован для мюонографии различных масштабных объектов.
- Использование двух детектирующих систем на сцинтилляционных стрипах и дрейфовых трубках обеспечивает быстрое триггирование и необходимую угловую точность на уровне 0.1 мрад.
- Работа выполняется в рамках договора между НИЯУ МИФИ и ВНИИАЭС

Спасибо за внимание!