

# Измерение потока космических мюонов в Подземной лаборатории в Канфранке

ВКР студента 283 гр.  
Фазлиахметова А.Н.

Научный руководитель:  
Л.В. Инжечик

МФТИ 2018

# Проект «MuonMonitor»

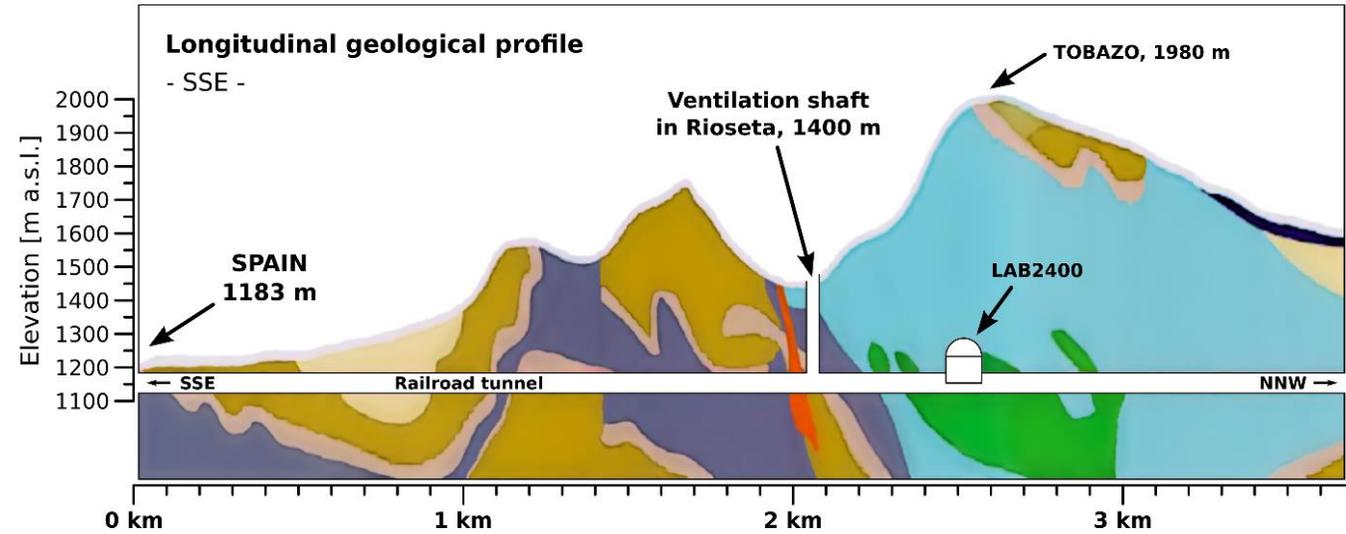
*Мотивация:* космические мюоны, проникающие сквозь толщу земли в подземные лаборатории являются одним из источников фона для сверхчувствительных детектирующих установок. Для планирования подземных низкофонных экспериментов, оптимизации дизайна и стоимости систем мюонного вето необходимо знать фоновые условия.

*Цель проекта:* измерение полного потока остаточных космических мюонов и восстановление его углового ( $\Theta$ ,  $\varphi$ ) распределения в Подземной лаборатории LSC.

*Участники:*

- Laboratorio Subterráneo de Canfranc, Canfranc, Spain
- Centre for Underground Physics in Pyhäsalmi = CUPP, Finland
- ИЯИ РАН и МФТИ

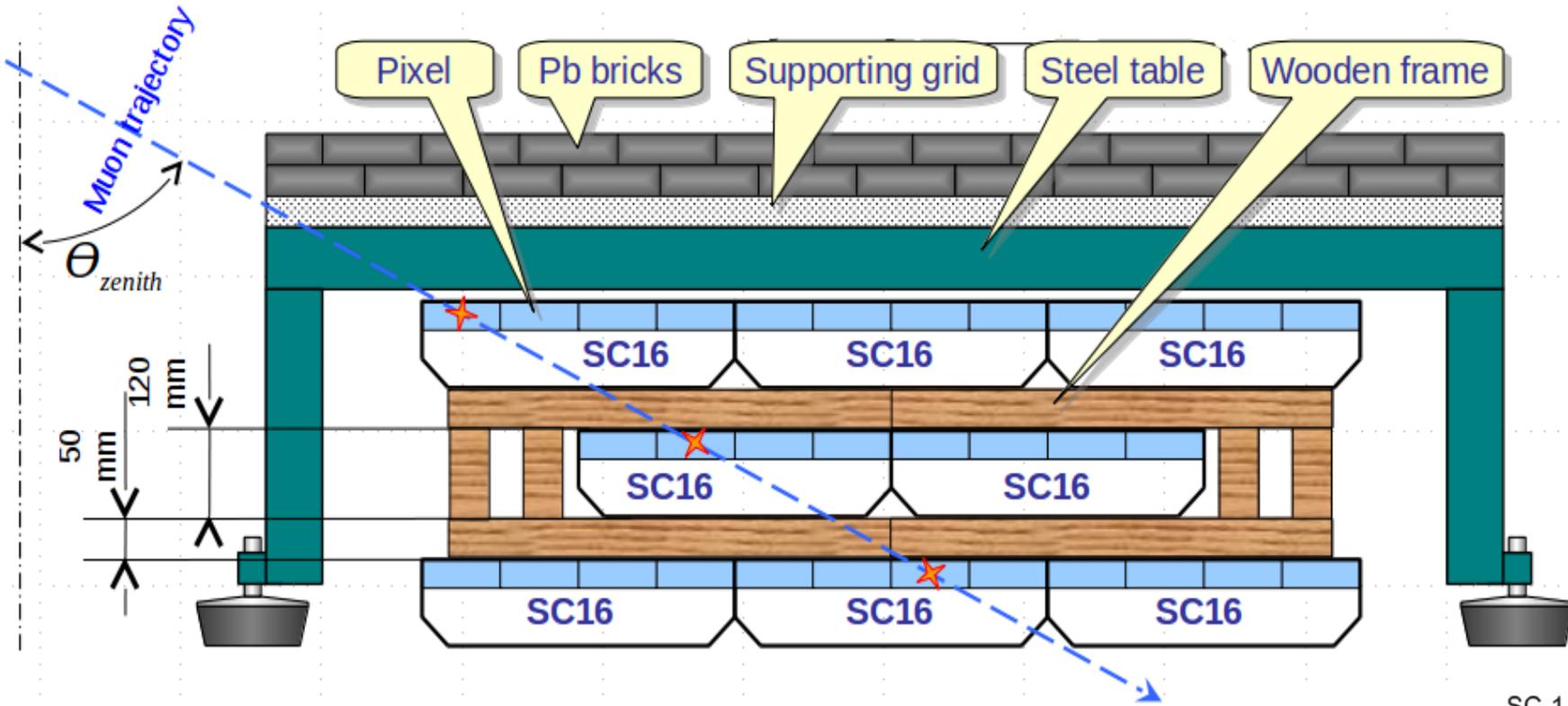
# Подземная лаборатория в Канфранке



Глубина залегания: 2450 mwe

Ожидаемый поток мюонов:  $\sim 3 \cdot 10^{-3} m^{-2} s^{-1}$

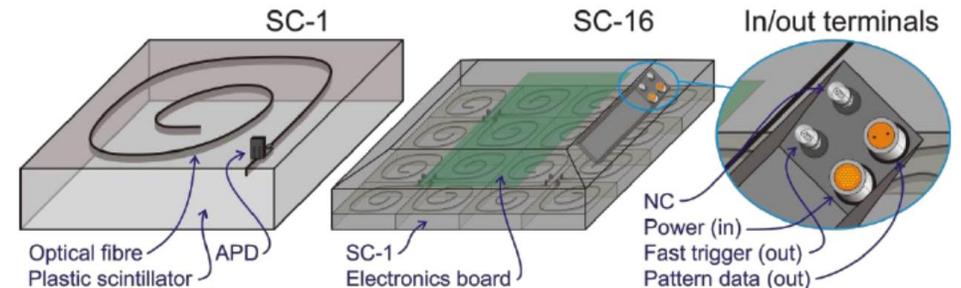
# Схема монитора мюонов



- Размеры детектирующей сборки:  $1.5 \times 1.5 \times 0.5$  метра
- 22 матричных детектора SC16
- Каждый детектор SC16 состоит из 16 субдетекторов SC1 собранных в матрицу  $4 \times 4$

## Параметры SC16

Габаритные размеры	—	$497.4 \times 497.4 \times 120 (\pm 0.5) \text{ mm}^3$
Потребляемая мощность	—	7 W
Временное разрешение	—	$< 2 \text{ ns}$



# Отбор данных

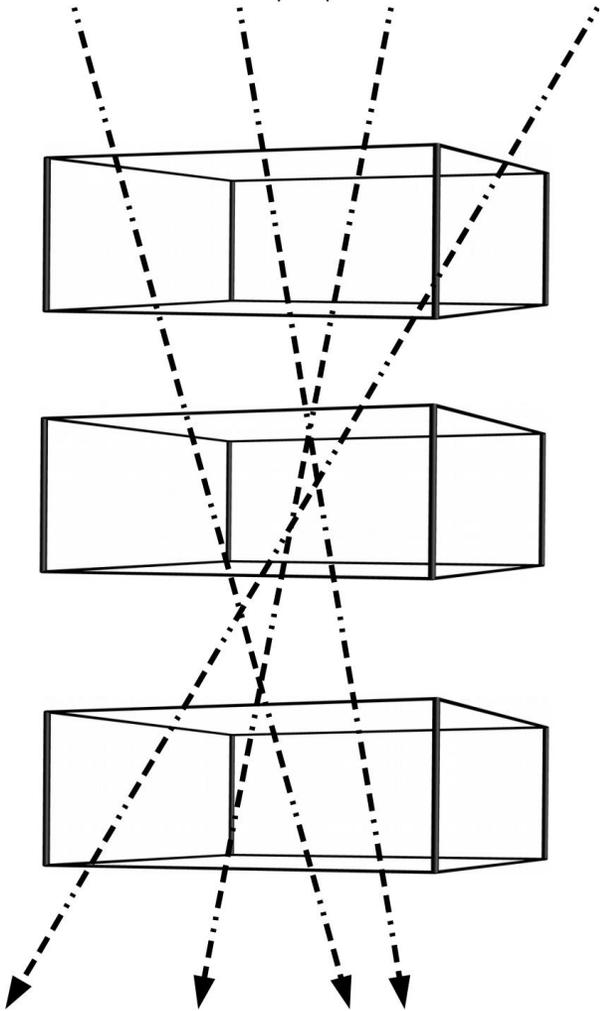
Первая серия измерений: сентябрь 2013 – октябрь 2015,  $51836385 \pm 9328$  с., ~4.5 Гб информации

Полное число событий (2 и более сработавших детектора в разных слоях): **40989864**

- Multiplicity cut (сработали все 3 слоя, в каждом слое не более трех SC1): **300887**
- Отсев событий с потерей информации о номере или времени сработавшего SC1: **254420**
- Time cut (во время события все пиксели должны сработать внутри 29 нс. окна): **242780**

**Суммарное число событий после первичной отбраковки: 242780**

# Подсчет полного потока мюонов



Поток мюонов через данную комбинацию пикселей:  $f_i = \frac{g_i}{R_i}$

- $g_i$  - количество срабатываний данной комбинации в данных
- $R_i$  — геометрическая эффективность данной комбинации, вычисляется при помощи простой геометрической симуляции

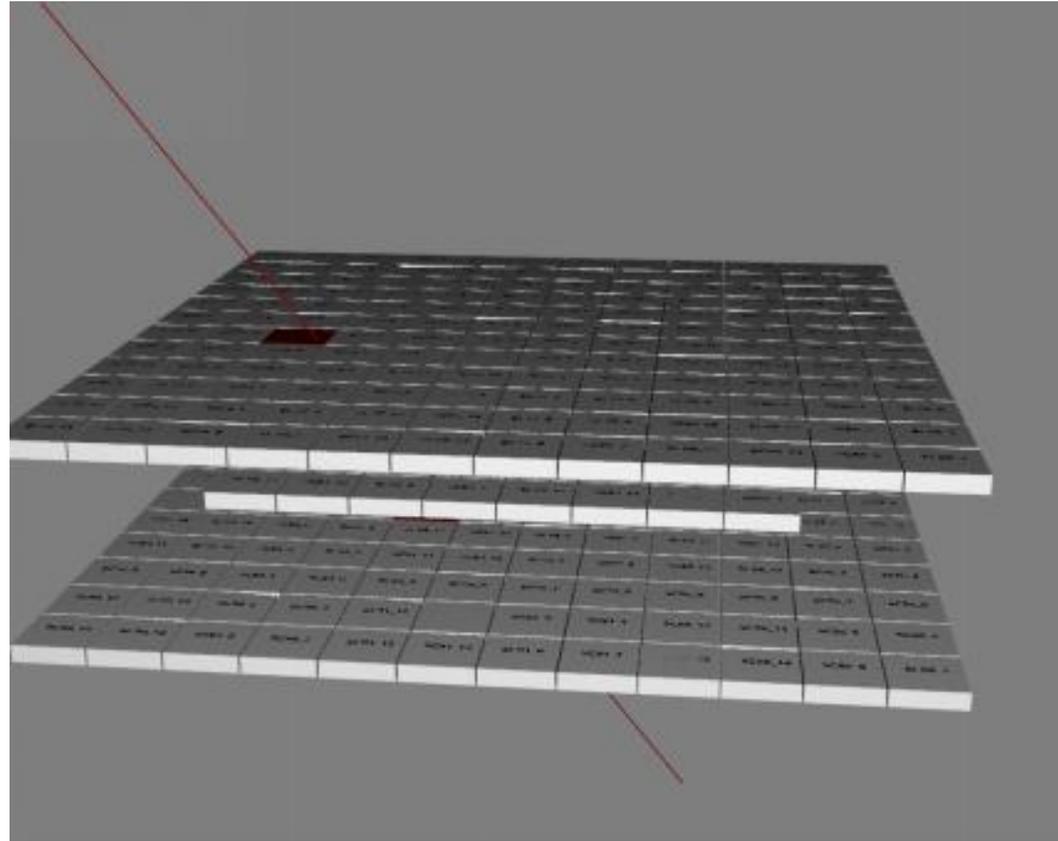
$$R_i = \frac{N_{sim.,i}}{N_{sim.,total}}$$

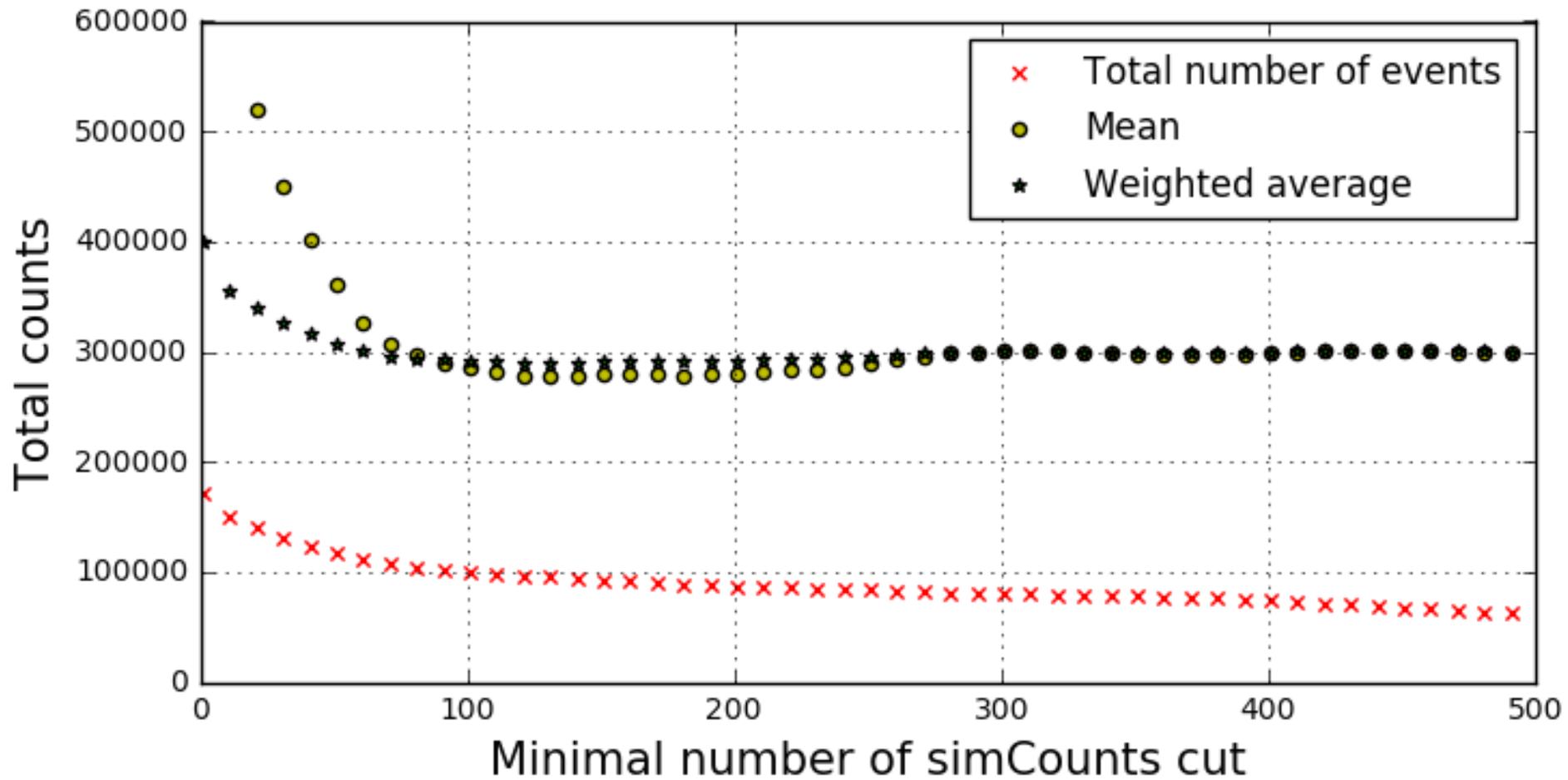
Итоговое значение полного потока получаем усреднением  $f_i$ :

$$\langle f \rangle = \frac{\sum_i f_i R_i}{R_i} = \frac{\sum_i g_i}{\sum_i R_i}$$

# Симуляция

- Симулируется равномерное распределение ( $10^7$  частиц)
- Учет только геометрических факторов: частицы — прямые линии, если она пересекает пиксель и проходит более 1 см в его объеме — он считается сработавшим.
- Учет только тех событий, которые есть в симуляции → дополнительный кат.





Результат усреднения в зависимости от отбраковки событий

# Значение полного потока мюонов

- Полный поток с учетом систематических ошибок:

$$\Phi = (4.35 \pm 0.2) \times 10^{-3} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$$

- Оценка получена в предположении, что все мюоны порождают в детекторе исключительно прямые треки, и число событий, сопровождающихся электромагнитными ливнями невелико.

- Другой подход: учет всех событий, в которых сработала схема совпадений:

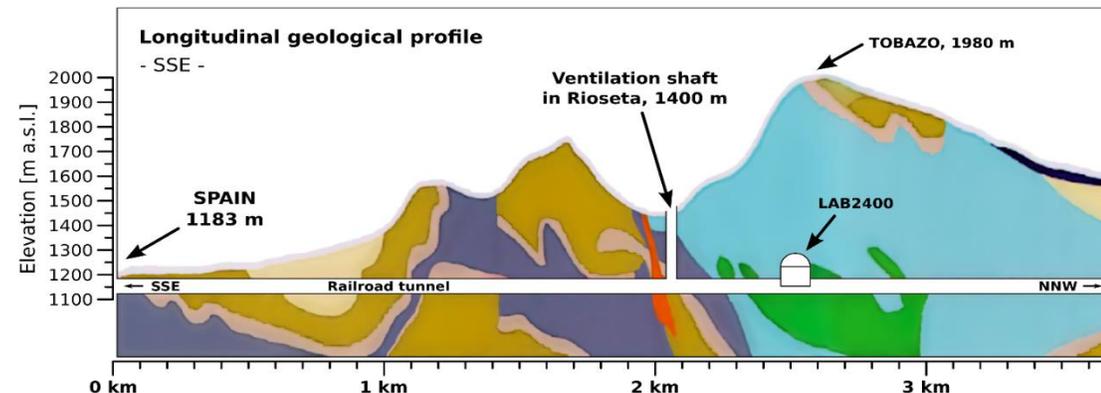
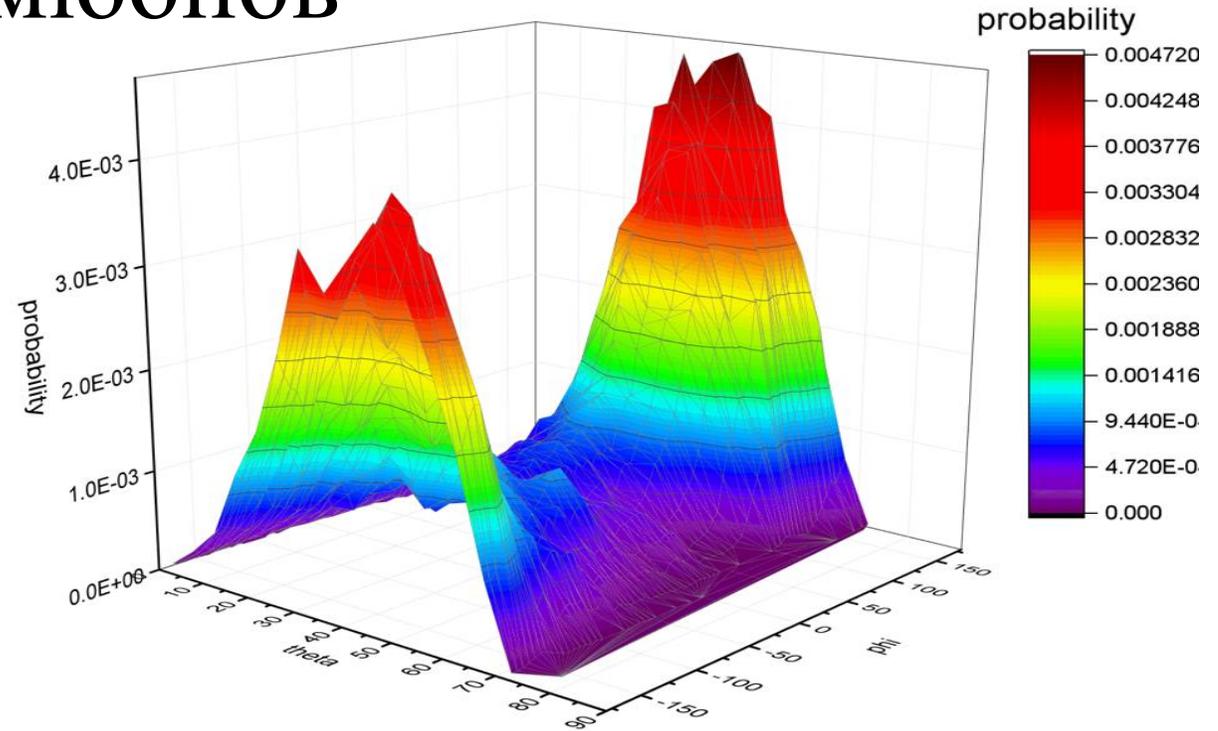
$$\Phi = (5.3 \pm 0.2) \times 10^{-3} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$$

- С поправкой на электромагнитные события оба метода дают сопоставимые результаты.

# Угловое распределение остаточного потока

## МЮОНОВ

1. Симуляция с изотропным распределением.
2. Для каждой комбинации пикселей из экспериментальных данных отбирались соответствующие события из симуляции.
3. Каждому событию из симуляции приписывался вес, равный количеству реальных событий с такой же комбинацией.
4. Из этих взвешенных событий строилась двумерная угловая гистограмма



# Заключение

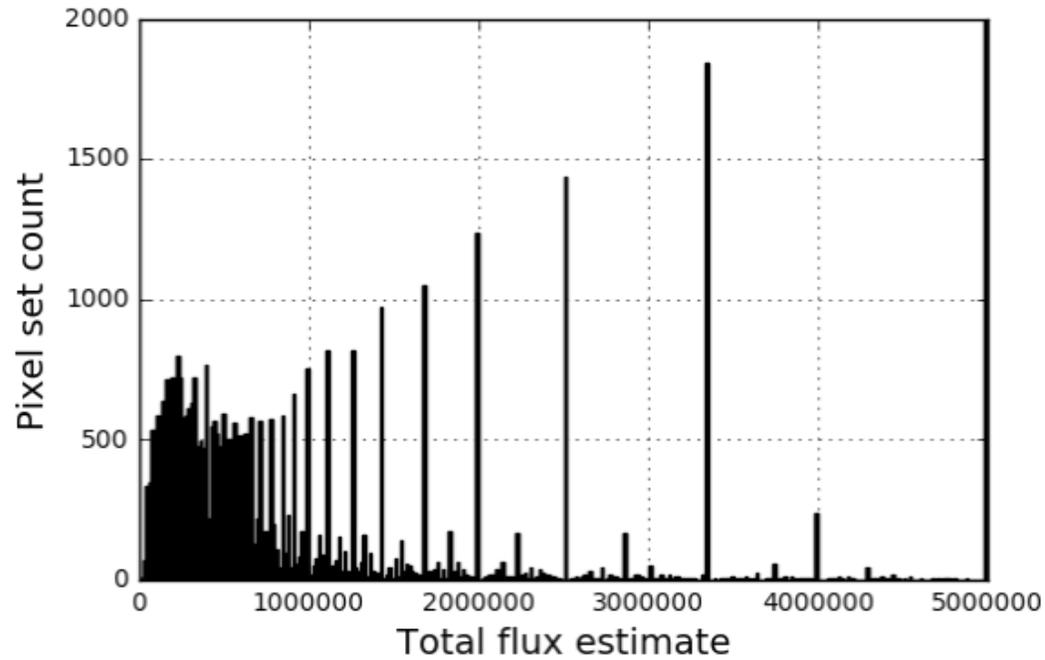
- Было принято участие в разборке, переносе, сборке, тестирование и запуске установки в другом зале лаборатории.
- Совместно с испанскими и финскими коллегами и под их руководством было проведено накопление экспериментальных данных по двум залам лаборатории.
- Выполнена обработка накопленных данных по залу А лаборатории LSC. Получено финальное значение полного потока мюонов в подземном Зале А лаборатории LSC, построено угловое распределение потока остаточных мюонов в том же зале.

По материалам данной работы, совместно с финскими и испанскими коллегами, отправлены материалы для публикации в журнал *Astroparticle Physics*.

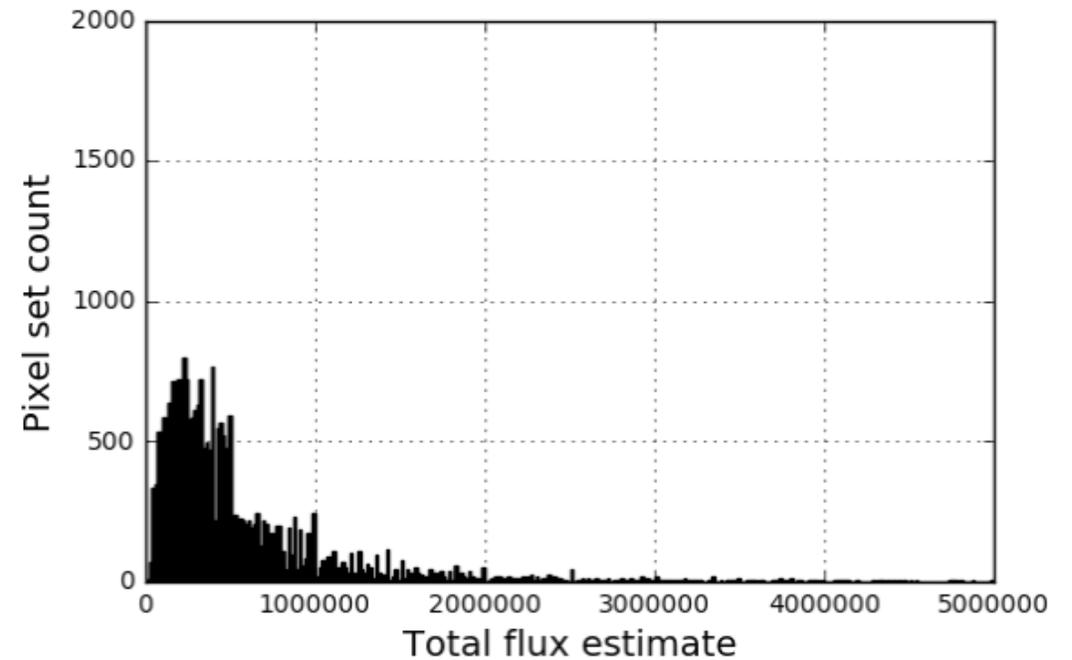


# Усреднение

Гистограммы  $f_i$



а) без отсева событий



б) после отсева событий с  
 $N_{\text{simul}, i} < 20$

# Угловое распределение экспериментальных данных

