



Регистрация мюонов космических лучей на подземном детекторе большого объема

Слуцкая О.Ю.

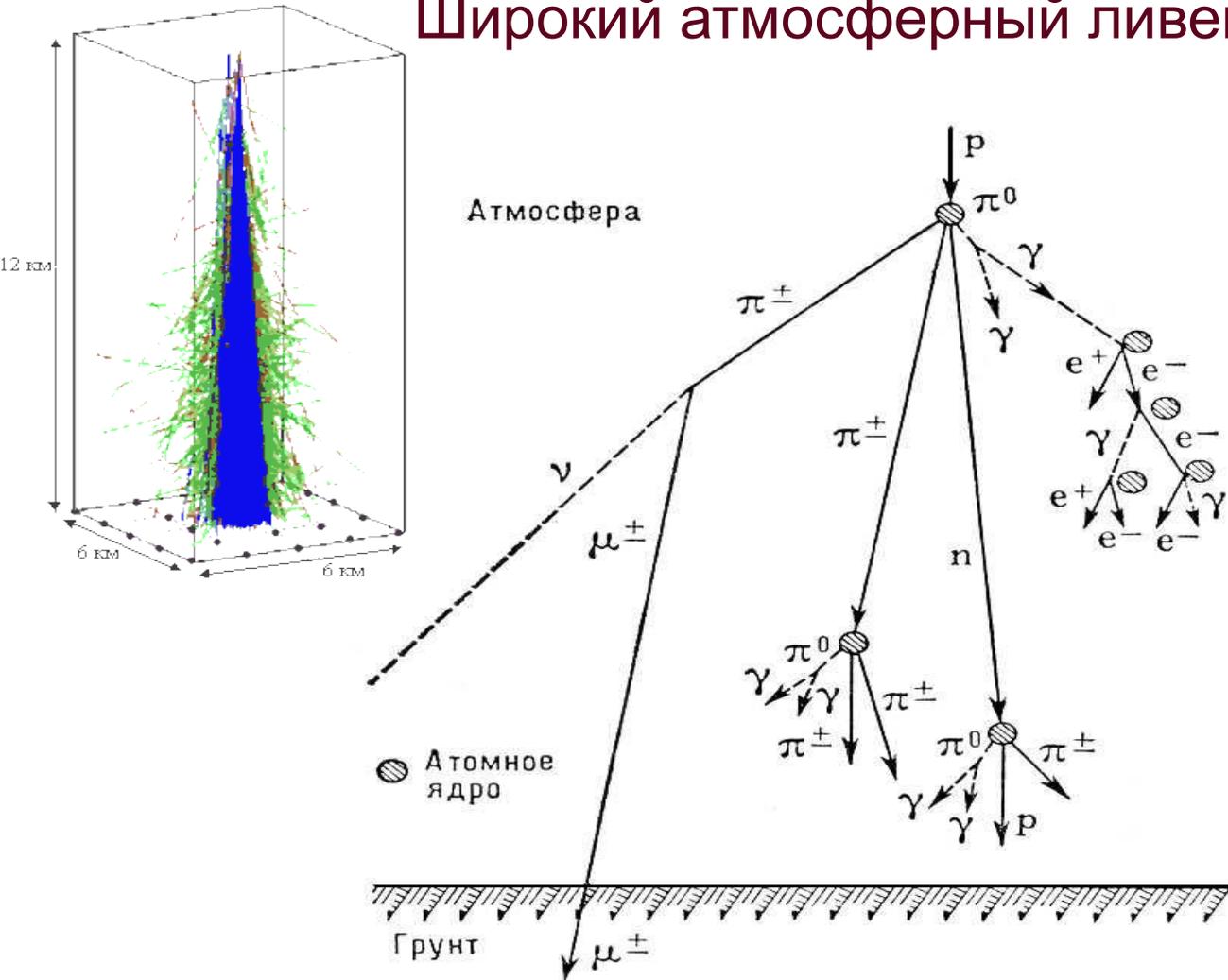
МИФИ, ИЯИ РАН

Научный руководитель: Н.Ю. Агафонова (ИЯИ РАН)

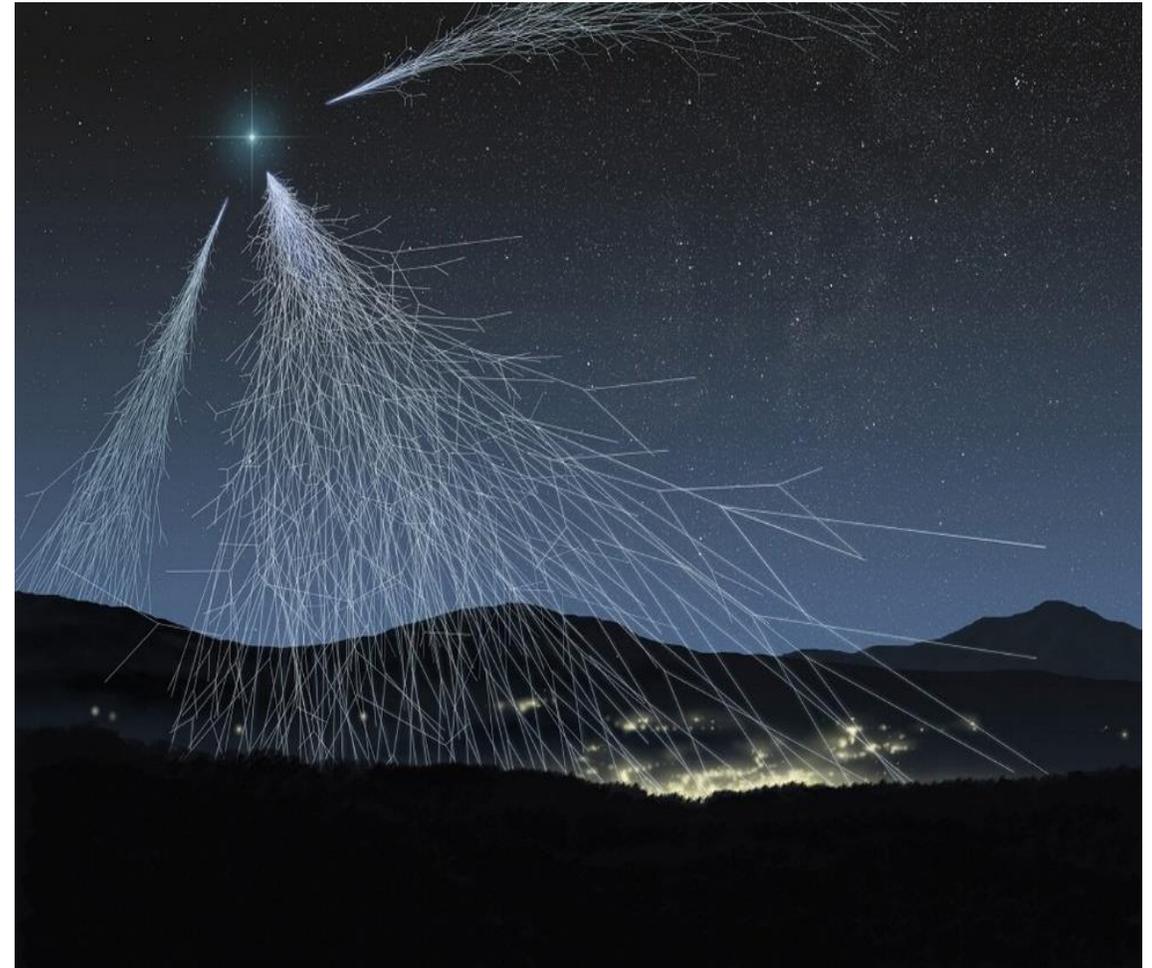
Доклад делается от имени LVD коллаборации

Космические лучи

Широкий атмосферный ливень



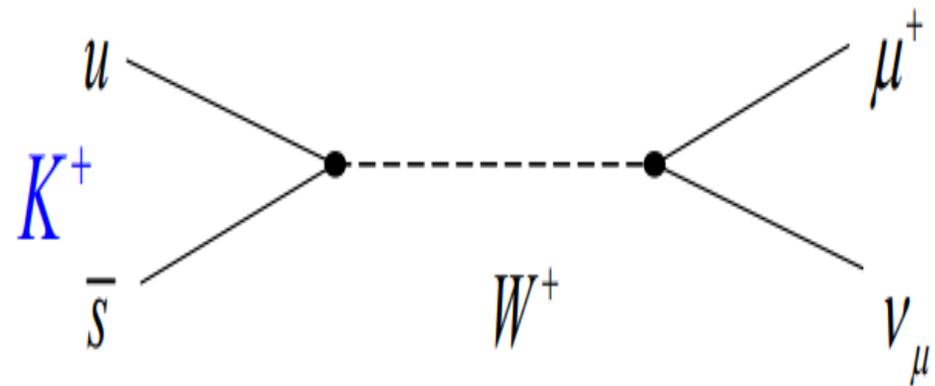
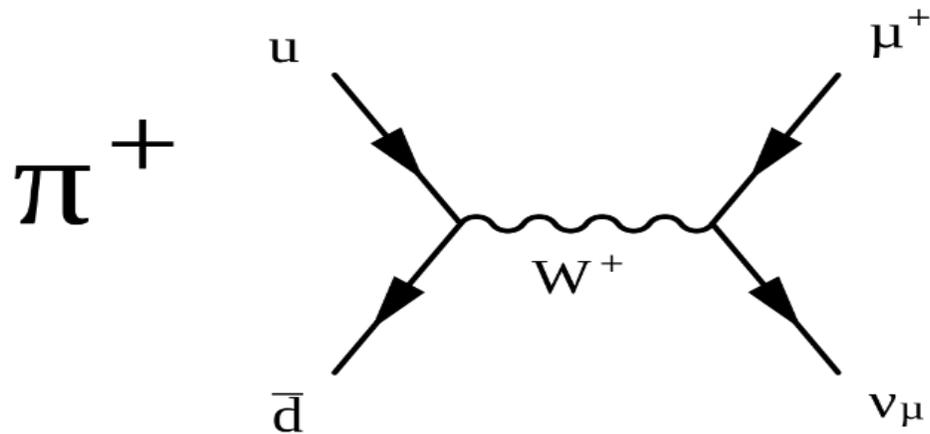
$E=280$ ГэВ, $H=3300$ м.в.э.



Взаимодействие мюонов с веществом

$$\pi^+ (K^+) \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$$

$$\pi^- (K^-) \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu$$



Взаимодействие мюонов с веществом

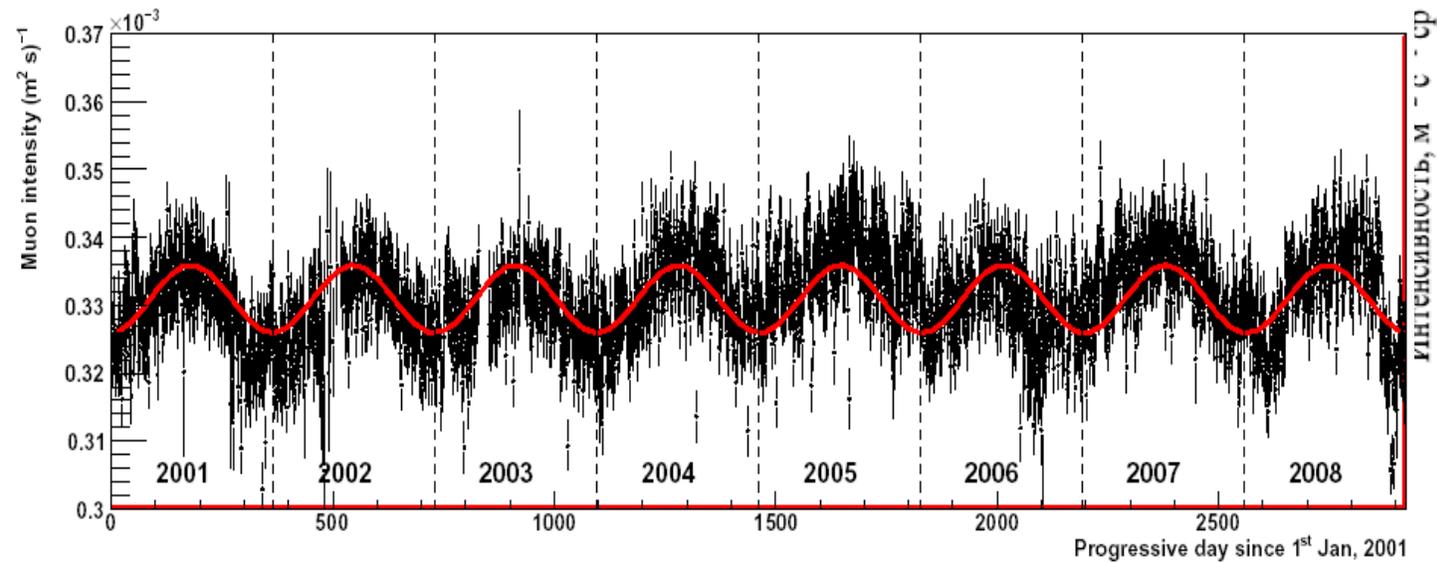
Мюоны с энергиями меньше 280 Гэв тормозятся атомами среды еще до их попадания в установку. При торможении мюон распадается по каналам:



Для отрицательного мюона возможен другой процесс при его остановке. Если мюон, потерявший свою энергию в результате ионизационных потерь останавливается вблизи атомного ядра, то происходит образование мезоатома.

Взаимодействие мюонов с веществом

Вариации интенсивности полного потока мюонов. Проанализировано 2,5 миллиона мюонных событий.



Кривая глубина – интенсивность

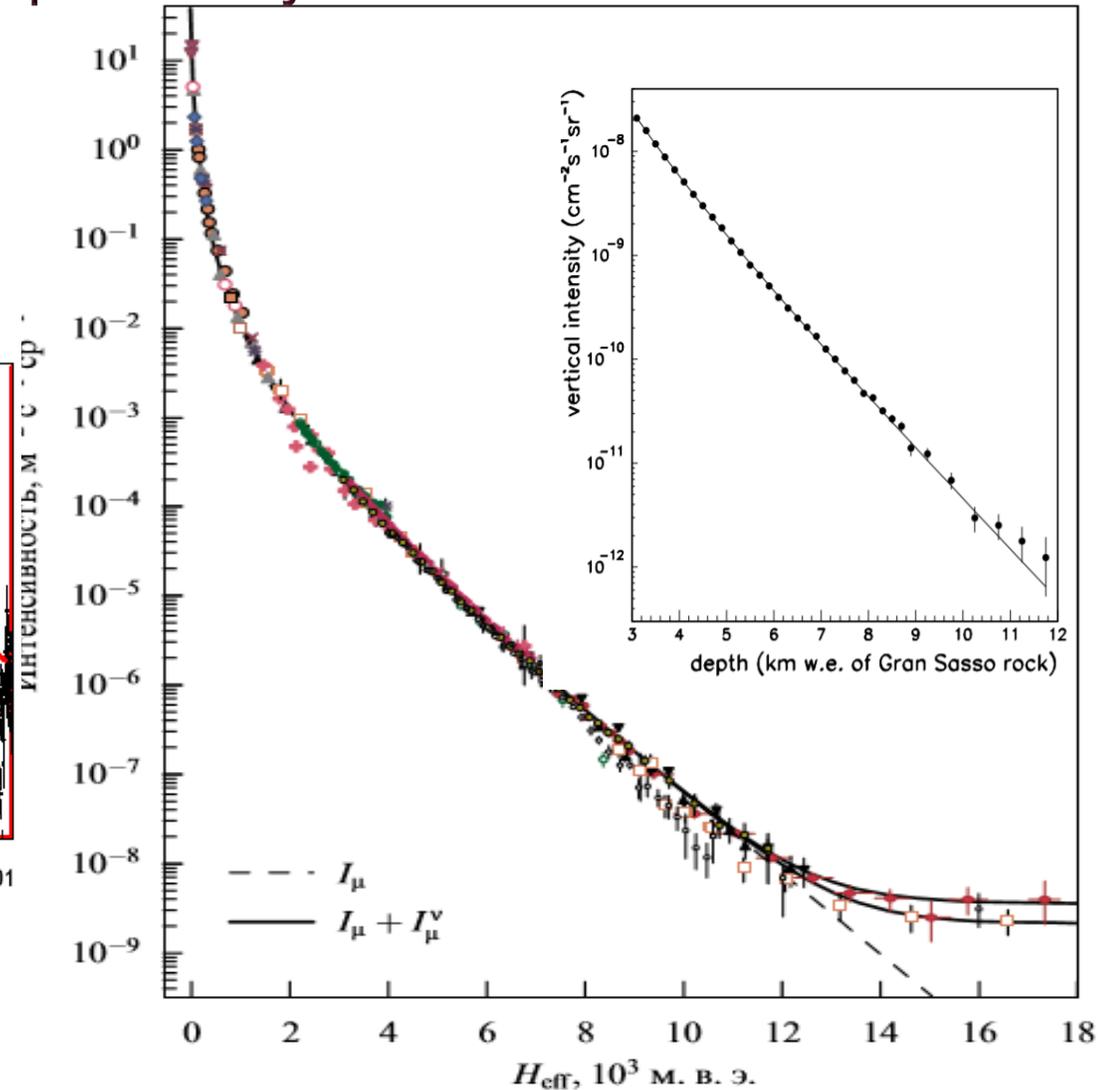
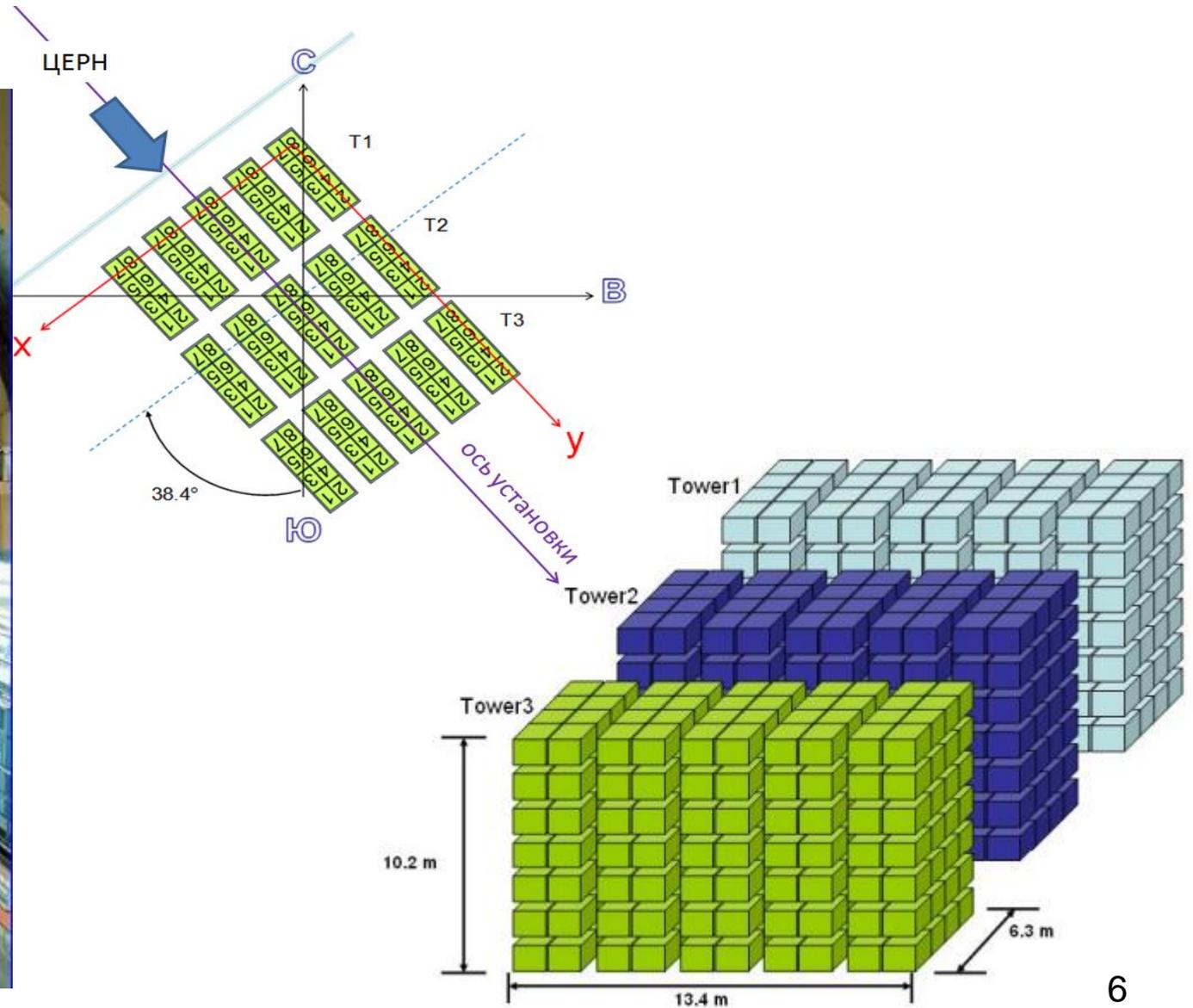
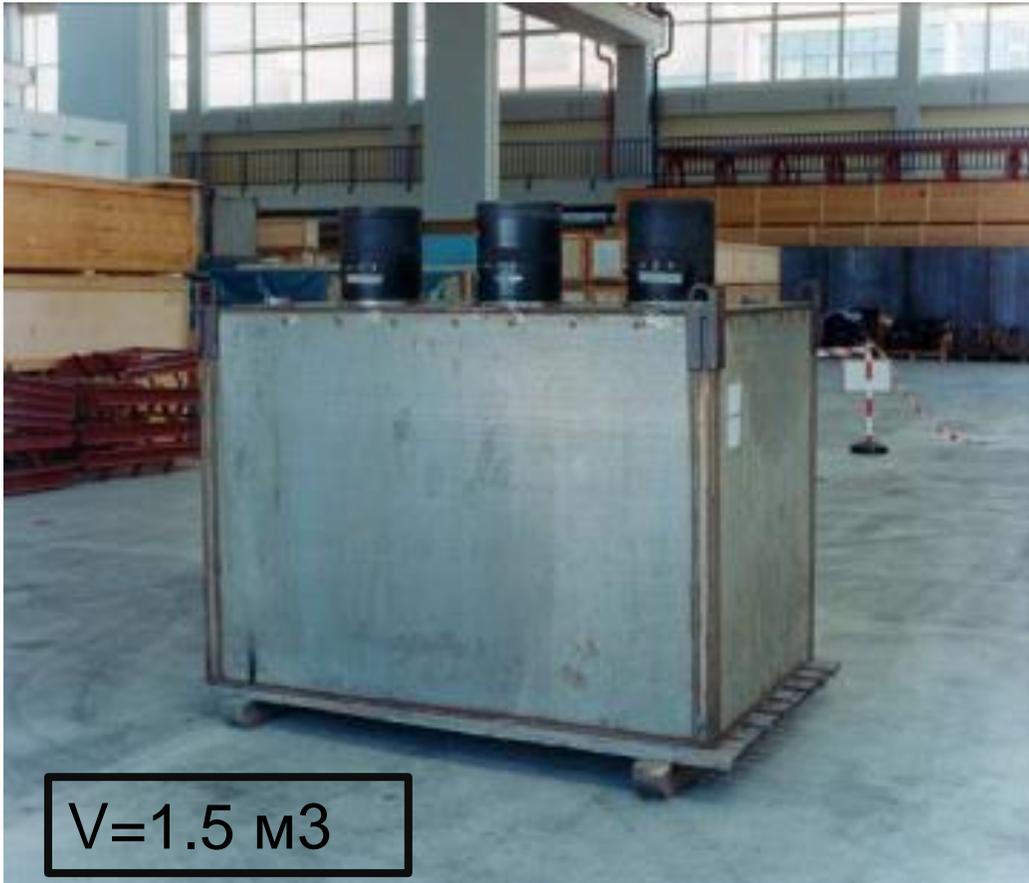


Схема установки LVD

Фронтальный вид установки LVD



Сцинтилляционный счетчик установки LVD

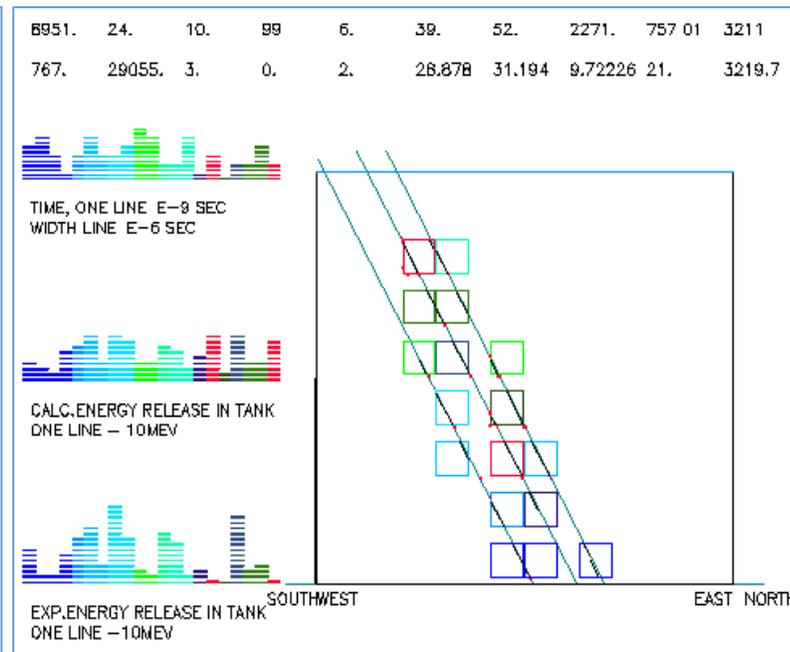
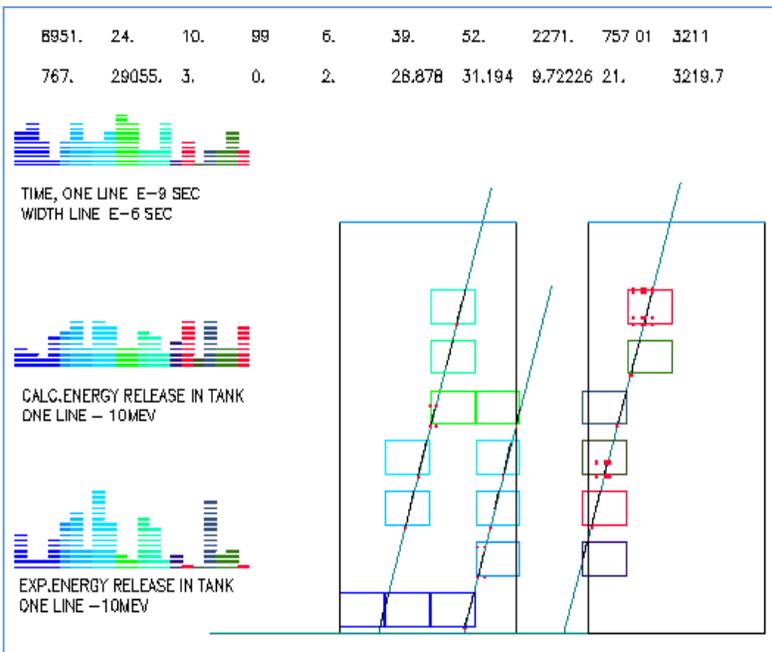


Установка LVD содержит 840 счетчиков. Внутри счетчиков находится жидкий сцинтиллятор. Масса сцинтиллятора каждого счетчика первой и второй башен 1170 ± 20 кг.

При взаимодействии мюонов они проходят через сцинтиллятор.

Взаимодействие мюонов в LVD

Боковой и фронтальный вид установки LVD с реконструированной тройкой мюонов.



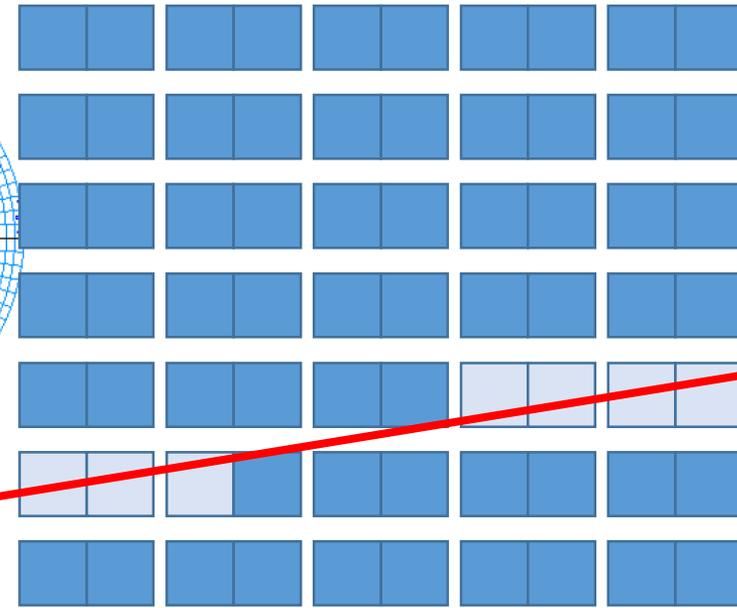
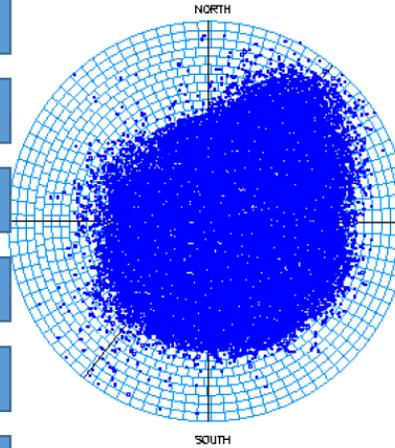
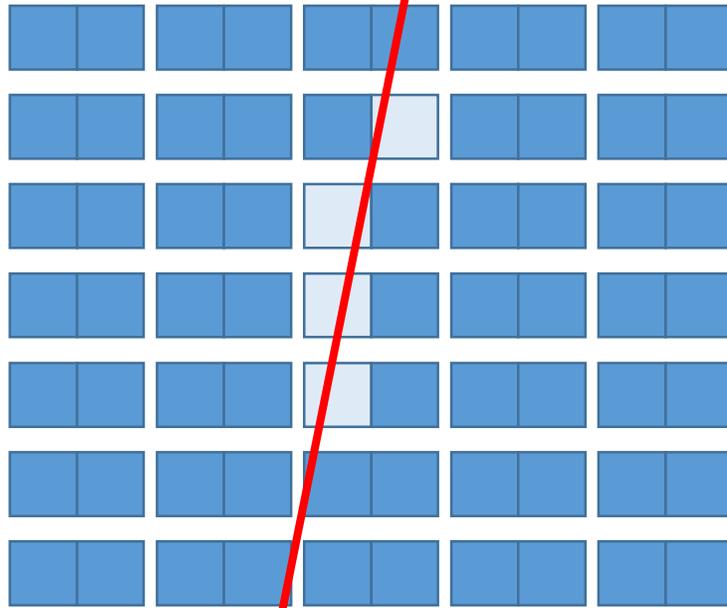
Мюонным считается событие, в котором имеются два счетчика зарегистрировавших в течение 250 нс энерговыделения больше 20 МэВ.

События с одиночными мюонами и парами мюонов. События этого вида должны удовлетворять следующим условиям:

- на траектории должно быть не менее трех точек пересечения мюоном трековой системы;
- сработавших сцинтилляционных счетчиков должно быть не менее 2 по траектории;

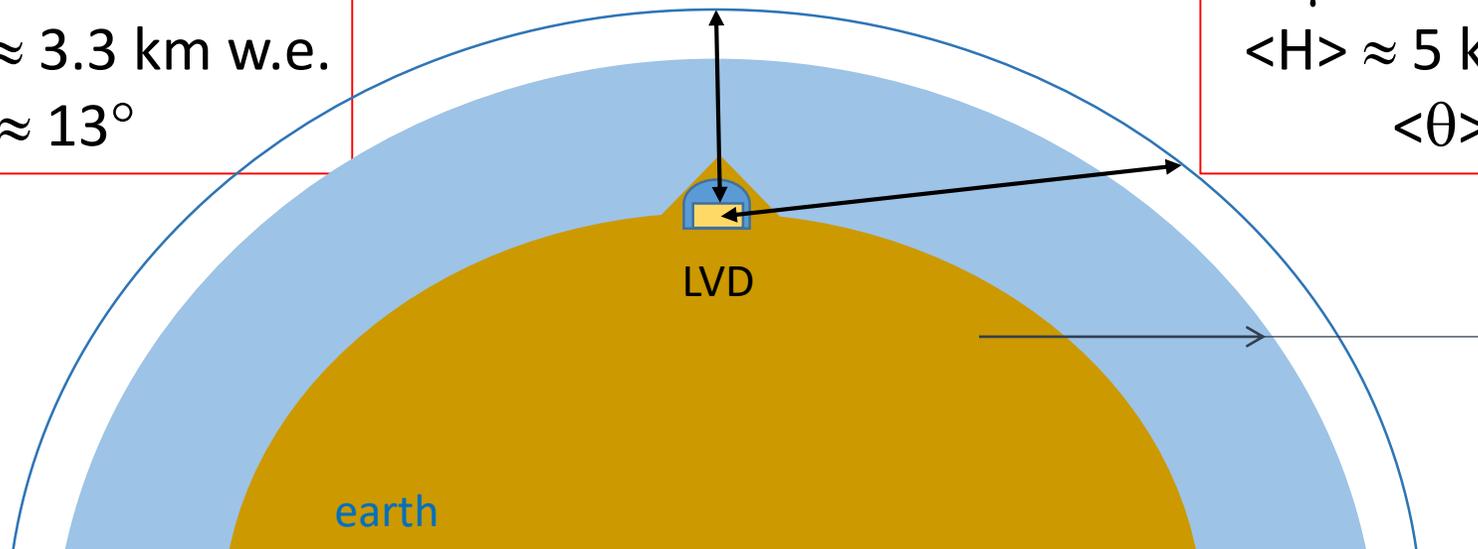
Почти вертикальные мюоны

Почти горизонтальные мюоны



$\langle E_\mu \rangle \approx 270 \text{ GeV}$
 $\langle H \rangle \approx 3.3 \text{ km w.e.}$
 $\langle \theta \rangle \approx 13^\circ$

$\langle E_\mu \rangle \approx 340 \text{ GeV}$
 $\langle H \rangle \approx 5 \text{ km w.e.}$
 $\langle \theta \rangle \approx 75^\circ$

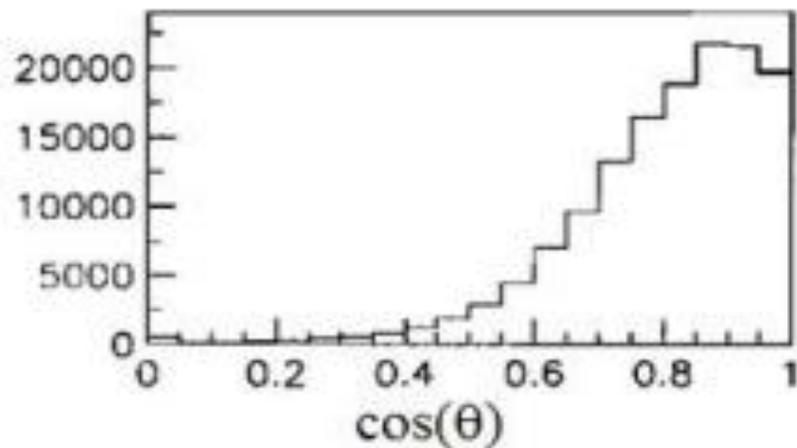


Формат записи данных LVD

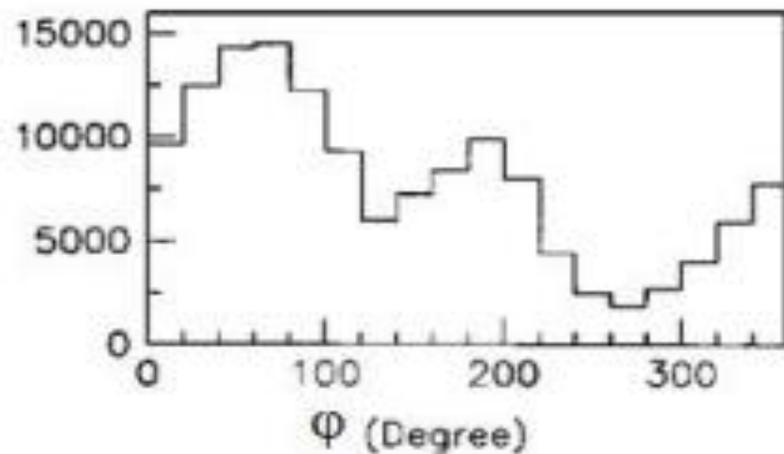
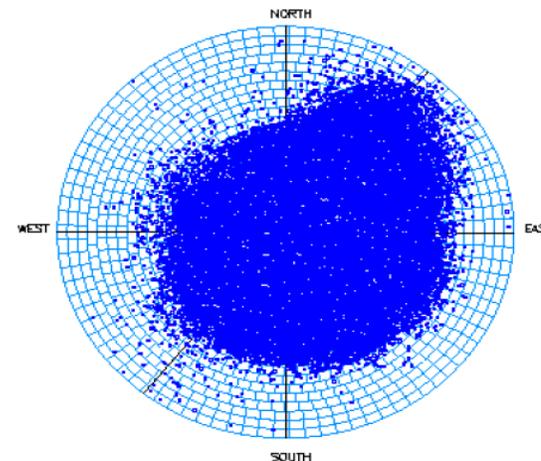
RUN	SEO	Number	date(6) ДД,ММ,ГГ,ЧЧ,МИ,СК	Udate	Utime	num. of counters
56119	255	55	30 8 22 13 0 11	30114	46811.2265275028	12
1157	0.2268945000	19.3299999237	0.0	1.54770		
1357	0.2265268625	169.0961700658	1.0	0.00000		
1466	0.2265268500	2807.6587895071	1.0	338.91688		
1464	0.2265271750	30.4099998474	0.0	2.84766		
1466	0.2265399250	16.4699993134	0.0	1.98812		
1466	0.2265409250	3.4699993134	0.0	0.41887		
1466	0.2265421125	1.4699993134	0.0	0.17745		
1466	0.2265475250	2.4699993134	0.0	0.29816		
1474	0.2265268750	98.5044391418	0.0	8.05329		
1473	0.2265268375	3803.0201534691	1.0	246.52809		
1471	0.2271020000	18.0300006866	0.0	1.35189		
1471	0.2273492125	13.0300006866	0.0	0.97699		
TCLP	time, ns	ADC, каналы	Trigg	Energy, MeV		

12

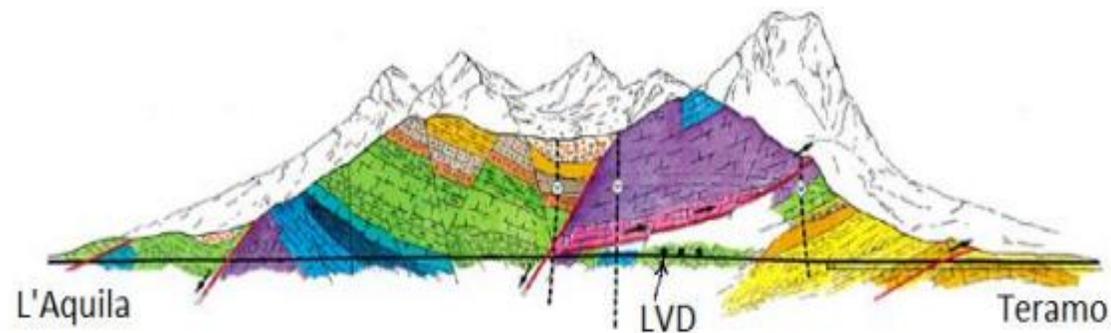
Результаты: угловое распределение



Угол максимальной интенсивности $\theta=28^\circ$

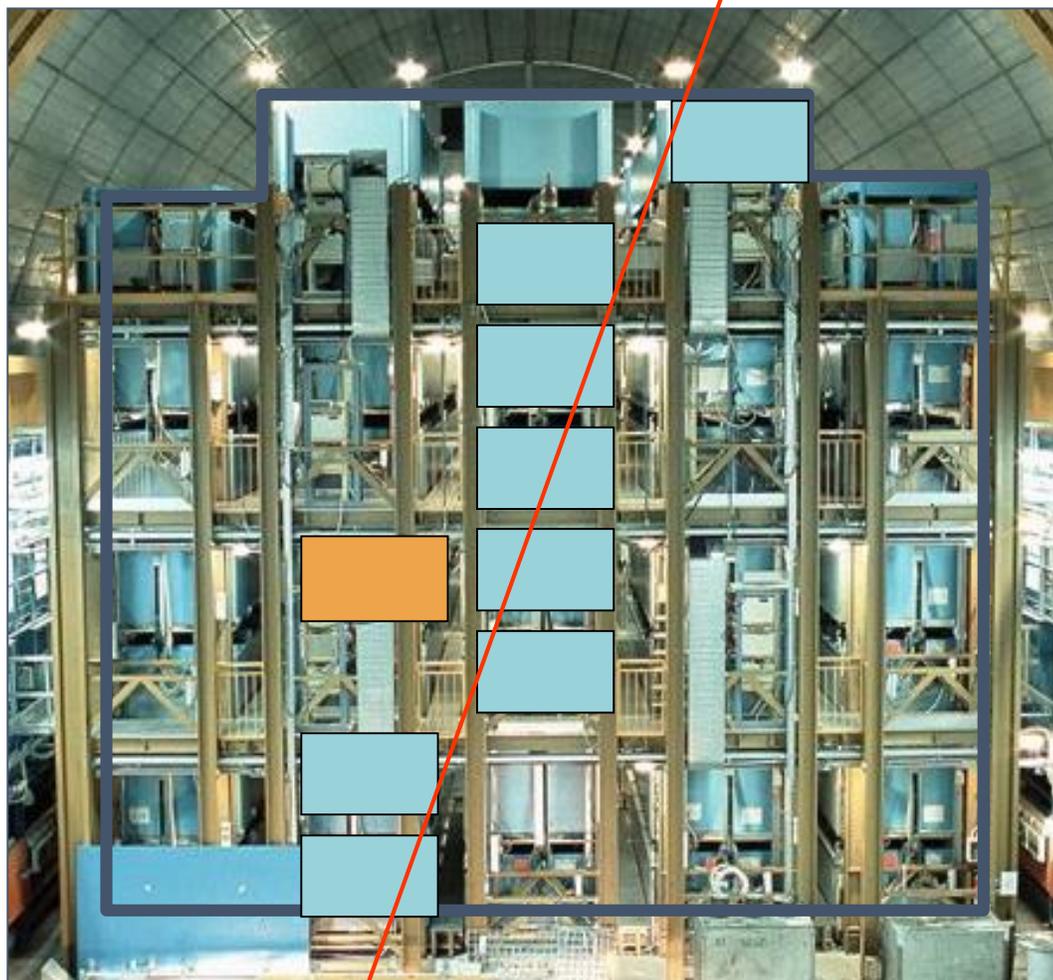


Вид распределения по Φ отражает форму поверхности горного массива над установкой.

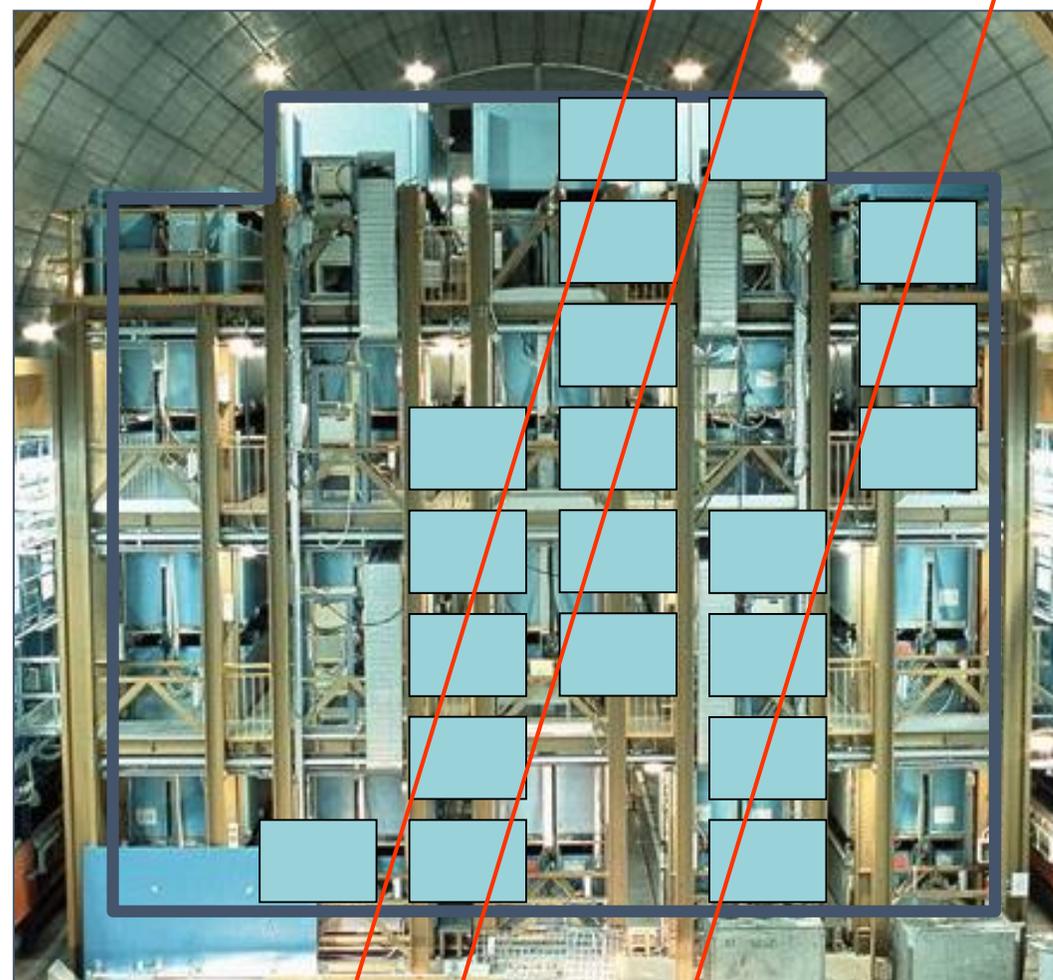


Результаты: реконструированные мюоны

Одиночный мюон

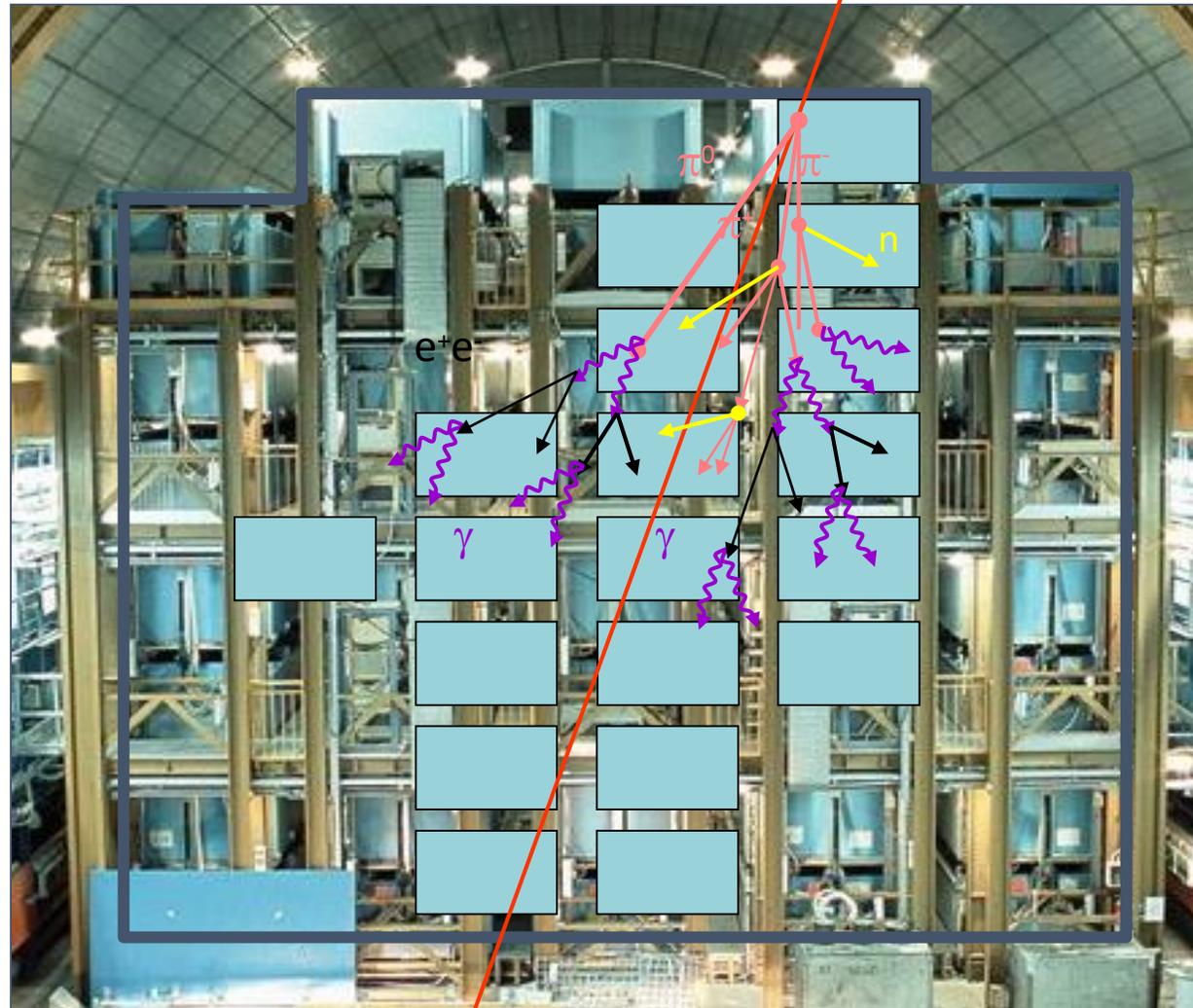


Группа мюонов



Результаты: реконструированные мюоны

Адронные и электромагнитные каскады



Результаты: реконструированные мюоны

Число реконструированных мюонов

Одиночные мюоны	72294
Мюонные группы	23502
к μ (k=3.54)	83264
Каскады	19603
Всего	116710

Заключение

1. Детектор LVD является хорошим инструментом для исследований мюонов космических лучей, приходящих на глубину от 3 до 12 км в.э.
2. Имеется обширная статистика за период с 2001 по 2022 год, когда ввели в строй набора статистики три башни установки.
3. Анализируя экспериментальные данные, можно получить такие характеристики мюонов, как их интенсивность, угловое и энергетическое распределение, кратность мюонных групп и кривую раздвижения (распределение по расстоянию мюонов в группах).

На данном этапе велся отбор и реконструкция мюонных событий за 2022 год.

Спасибо за внимание!