



# Регистрация мюонов космических лучей на подземном детекторе большого объема

**Слуцкая О.Ю.**

МИФИ, ИЯИ РАН

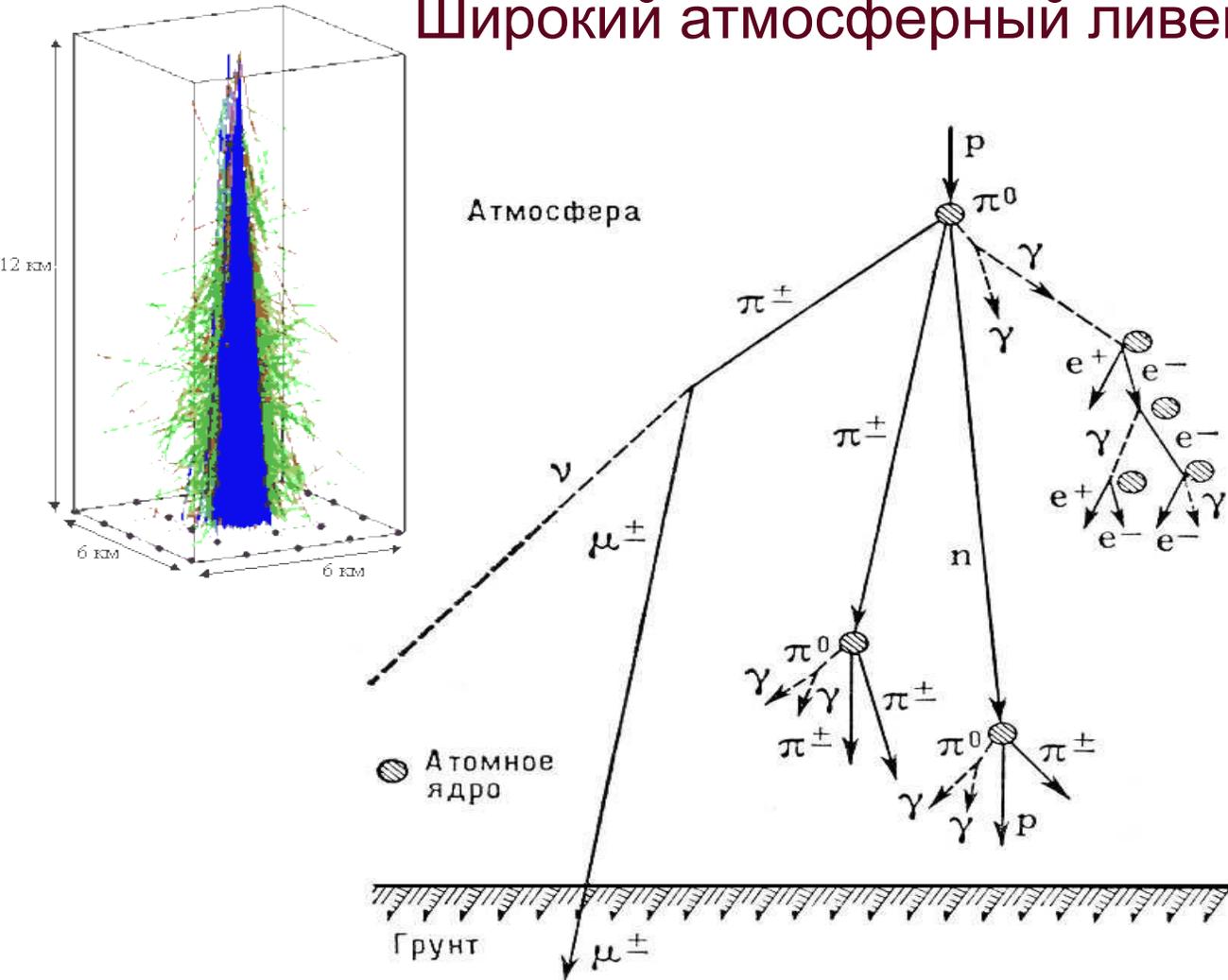
Научный руководитель: Н.Ю. Агафонова (ИЯИ РАН)

# Мотивация

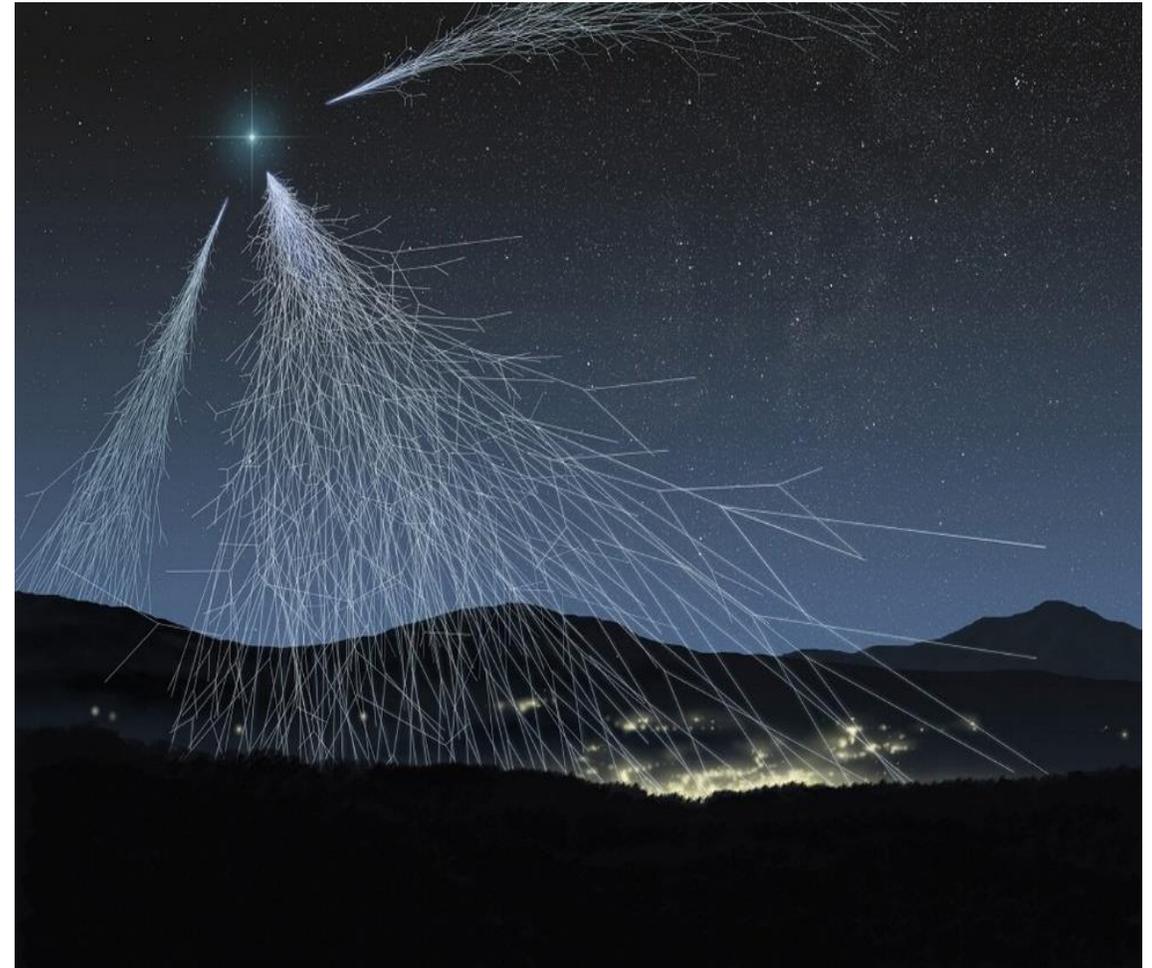
- **Мюонная загадка:** обнаружено, что мюонов космических лучей на 30%-60% больше, чем предполагается. За такой избыток ответственны первичные космические лучи с энергиями  $E \sim 10^{17}$  эВ и выше. Причем этот избыток возрастает вместе с энергией первичных частиц.
- Возможности установки LVD не до конца изучены, можно попробовать искать редкие события (мюоны больших энергий).

# Космические лучи

## Широкий атмосферный ливень



$E=280$  ГэВ,  $N=3300$  м.в.э.



# Взаимодействие мюонов с веществом

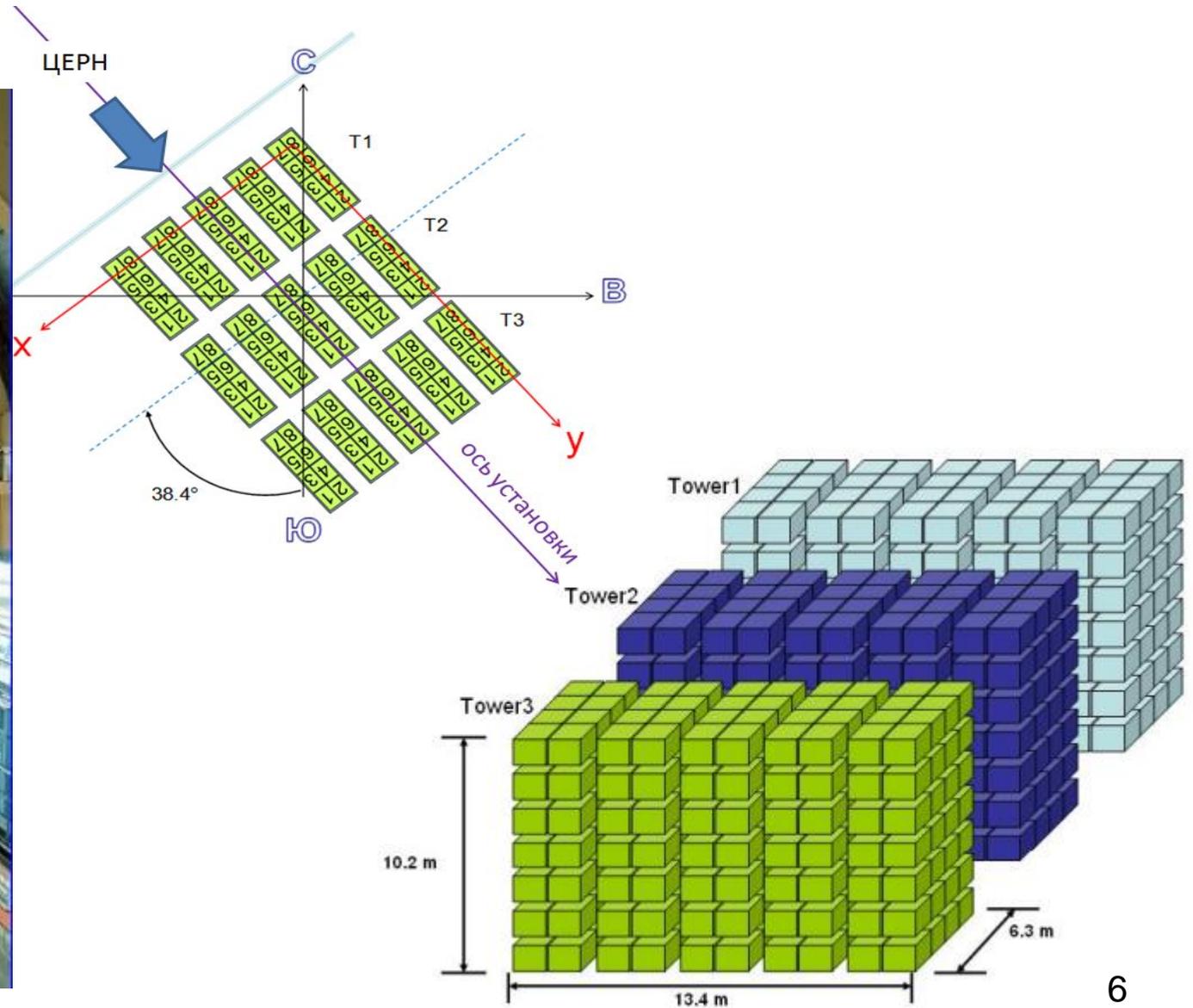
Мюоны с энергиями меньше 280 Гэв тормозятся атомами среды еще до их попадания в установку. При торможении мюон распадается по каналам:



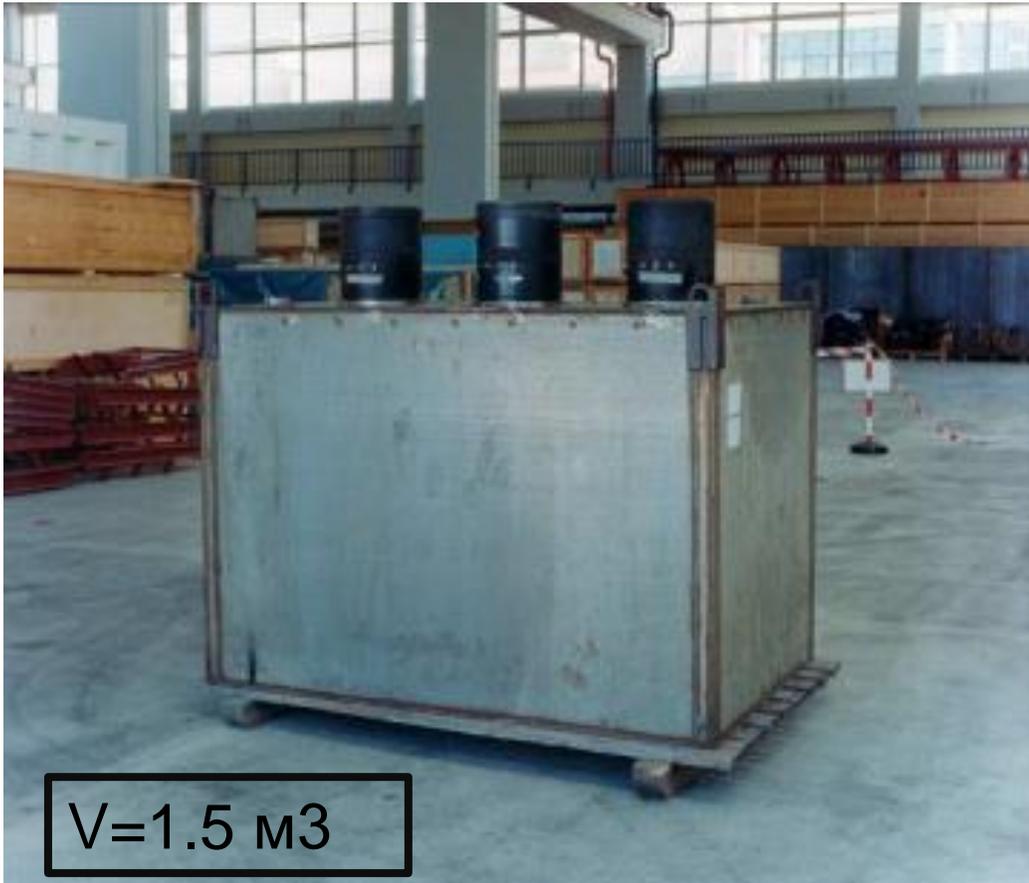
Для отрицательного мюона возможен другой процесс при его остановке. Если мюон, потерявший свою энергию в результате ионизационных потерь останавливается вблизи атомного ядра, то происходит образование мезоатома.

# Схема установки LVD

Фронтальный вид установки LVD



# Сцинтилляционный счетчик установки LVD



Установка LVD содержит 840 счетчиков. Внутри счетчиков находится жидкий сцинтиллятор  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . Масса сцинтиллятора каждого счетчика первой и второй башен  $1170 \pm 20$  кг.

При взаимодействии мюонов они проходят через сцинтиллятор.

# Ионизационные потери в сцинтилляторе

Ионизационные потери высокоэнергетичных мюонов рассчитываются по следующей формуле:

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{иониз}} = \frac{L}{\beta^2} \left[ B + 0.69 + 2 \ln \left( \frac{p}{m_{\mu} c^2} \right) + \ln \left( \frac{E'_m}{m_{\mu} c^2} \right) - 2\beta^2 - \delta \right]$$

где  $E'_m = \frac{p^2 c^2}{E + (m_{\mu}^2 c^2 / 2m_e)}$ ,  $p = \sqrt{T(T + 2m_{\mu} c^2)}$ ,  $\delta = 4,606 \lg \left( \frac{p}{m_{\mu} c} \right) - c$ .

Средняя энергия мюонов, проходящих через установку  $\sim 280$  ГэВ, тогда:

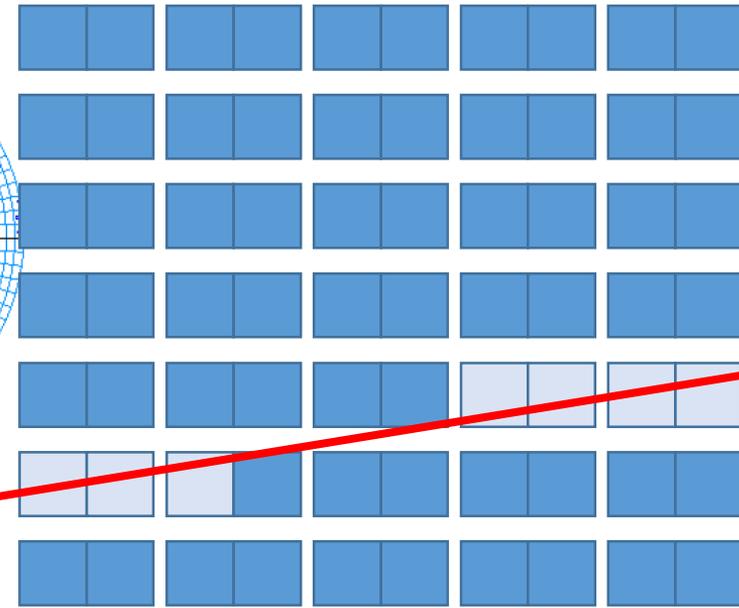
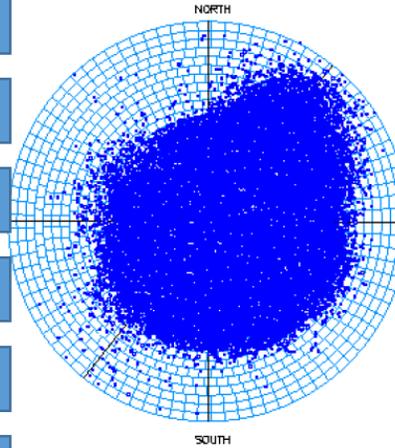
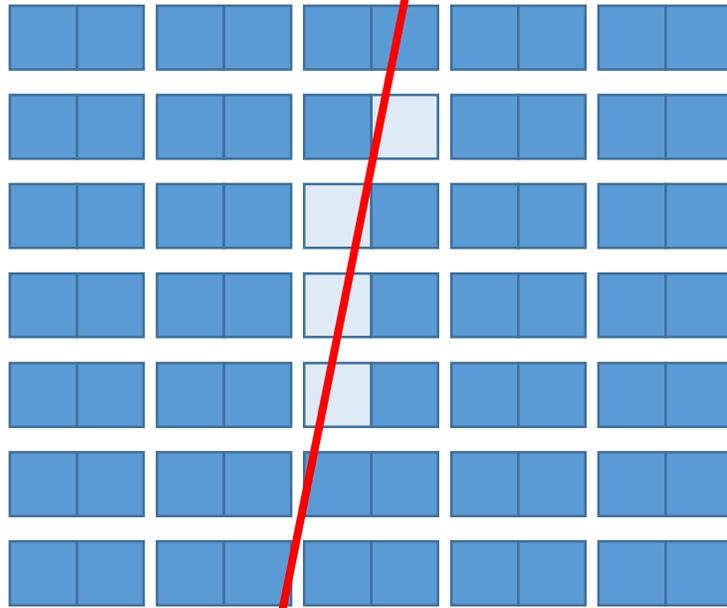
$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{иониз}} = 2.49 \frac{\text{МэВ}}{\text{Г} \times \text{см}^2}$$

Расстояние, которое проходит мюон в счетчике определяется как:  $x = \frac{E}{2,49 \cdot \rho}$

Максимальное расстояние в счетчике  $\sim 2$  м., энергия мюона  $\approx 390$  МэВ.

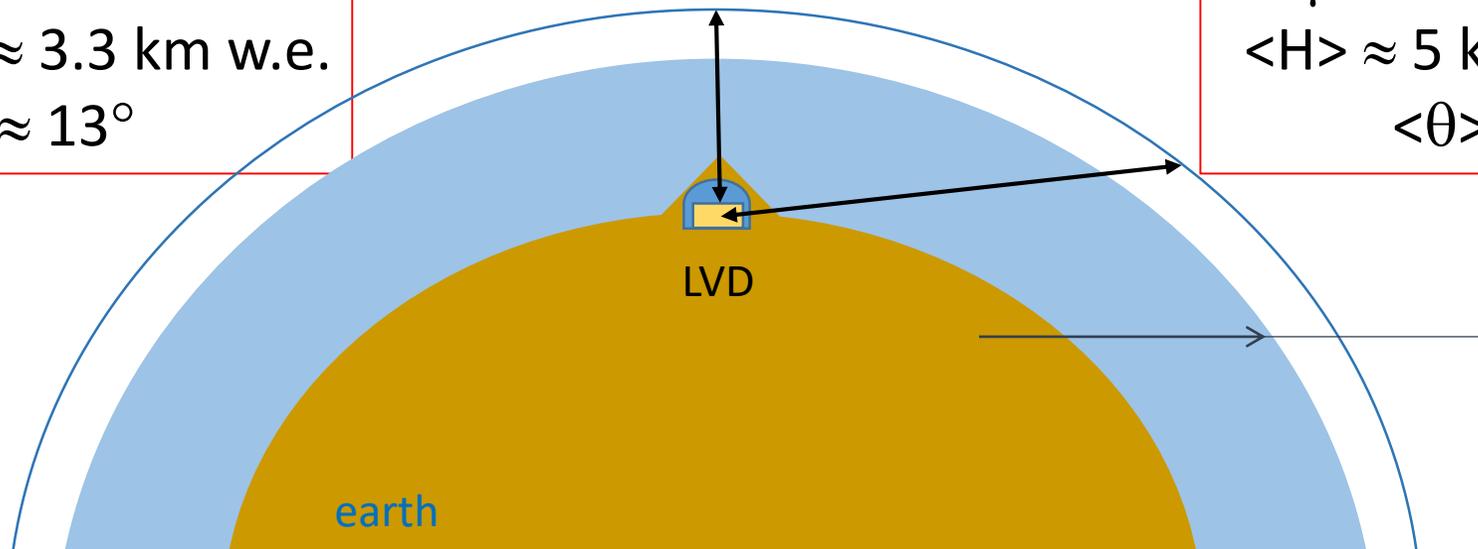
# Почти вертикальные мюоны

# Почти горизонтальные мюоны



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

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

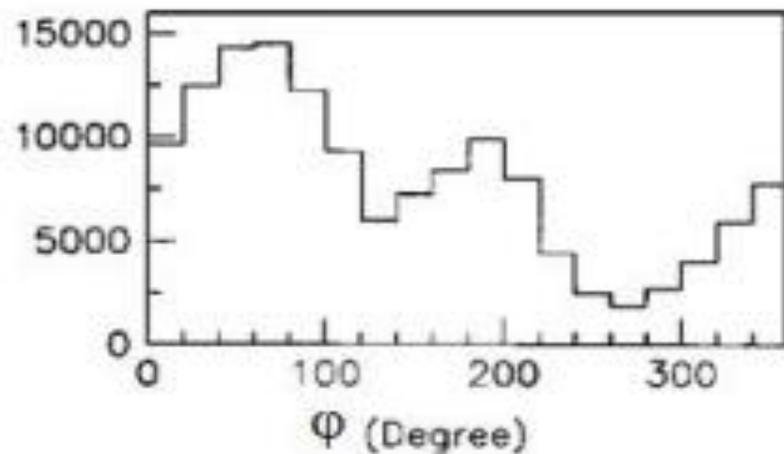
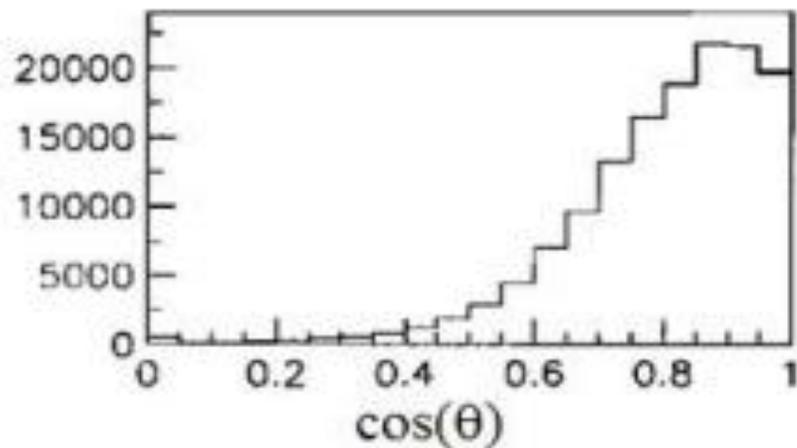


# Формат записи данных LVD

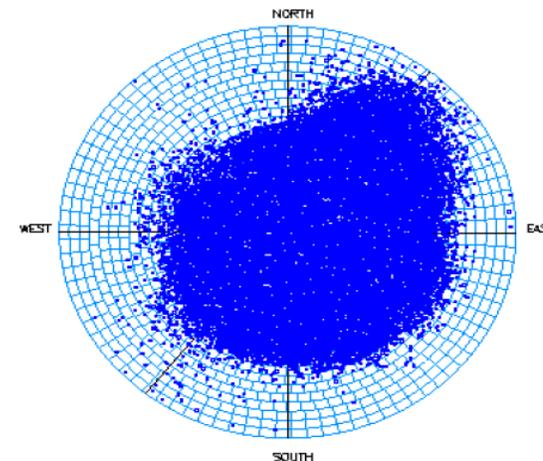
RUN	SEO	Number	date(6) ДД,ММ,ГГ,ЧЧ,МИ,СК	Udate	Utime	num. of counters
56119	255	55	30 8 22 13 0 11	30114	46811.2265275028	12
1157	0.2268945000	19.3299999237	0.0	1.54770		
1357	0.2265268625	169.0961700658	1.0	0.00000		
1466	0.2265268500	2807.6587895071	1.0	338.91688		
1464	0.2265271750	30.4099998474	0.0	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

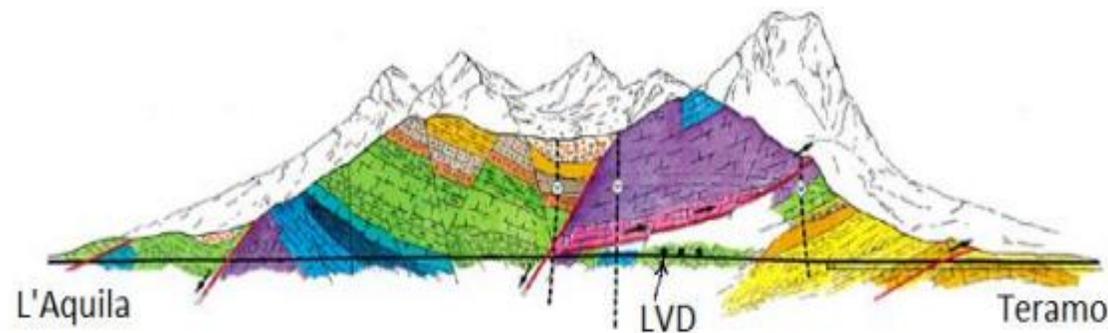
# Угловое распределение



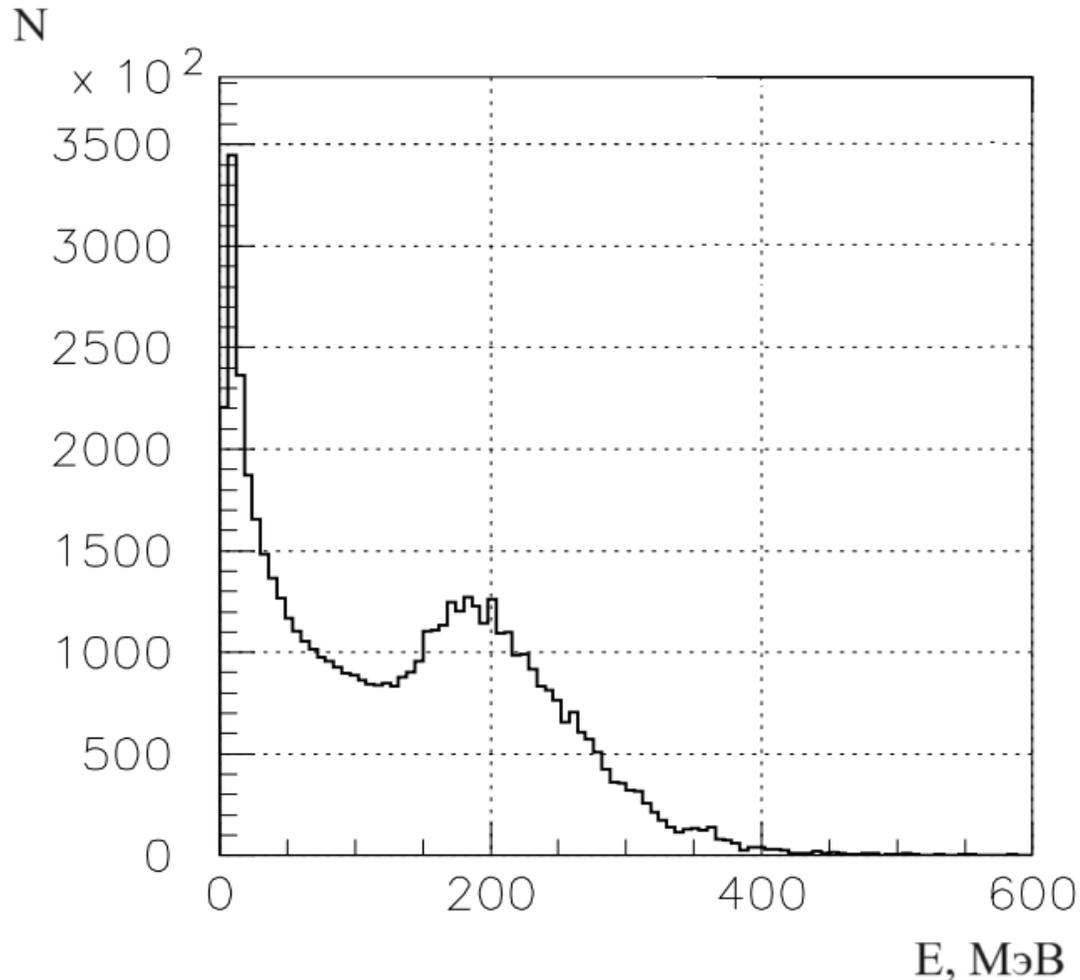
Угол максимальной интенсивности  $\theta=28^\circ$



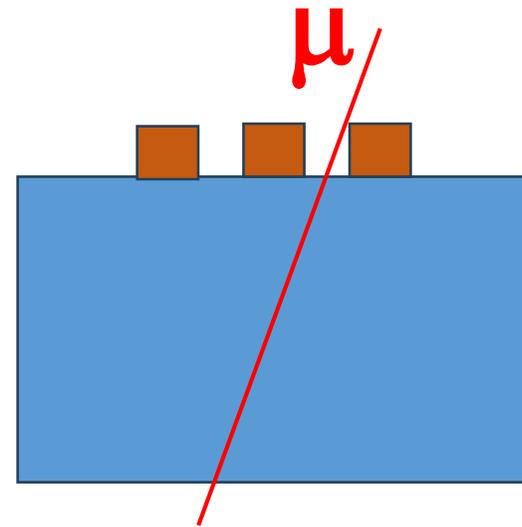
Вид распределения по  $\varphi$  отражает форму поверхности горного массива над установкой.



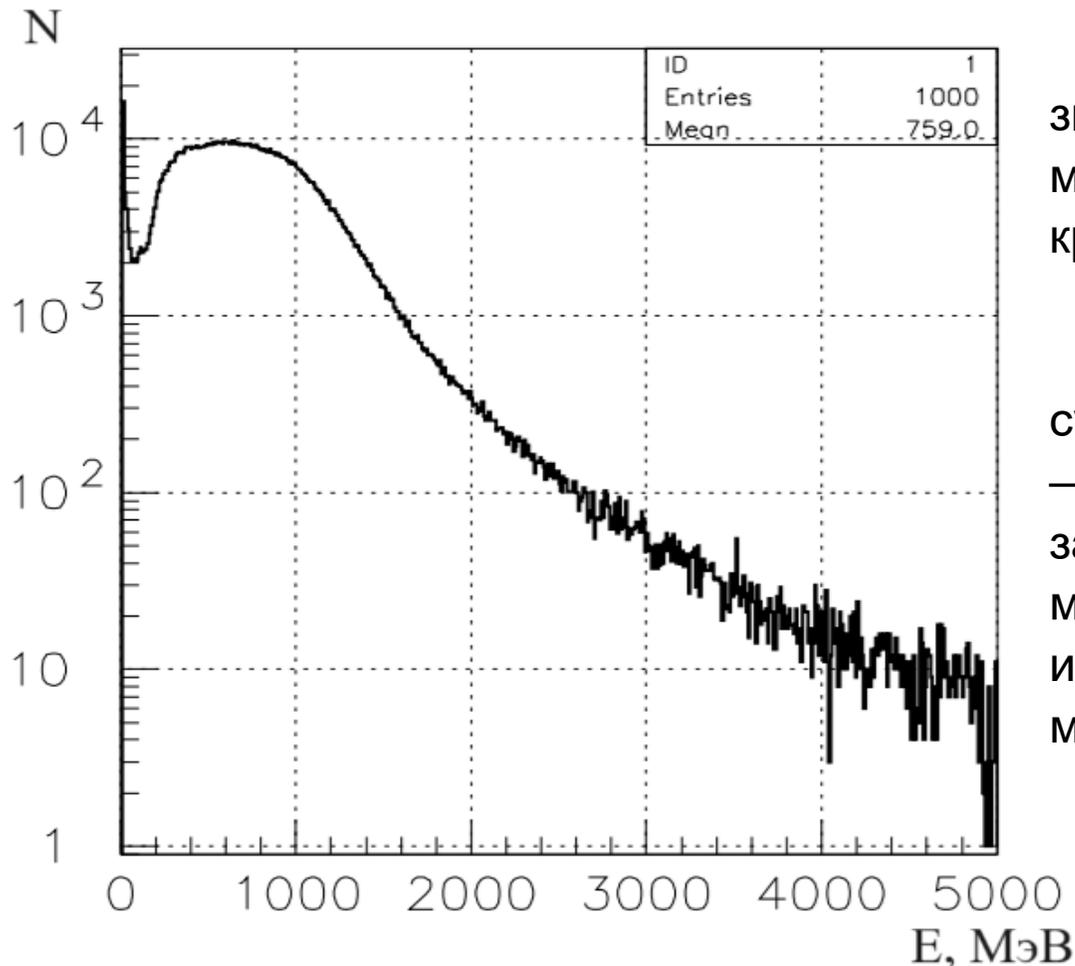
# Распределение энерговывделений в одном счетчике LVD



Это распределение имеет характерный максимум – так называемый мюонный пик в районе 185 МэВ. Эта энергия соответствует наиболее вероятной длине трека мюона при прохождении мюона через счетчик.

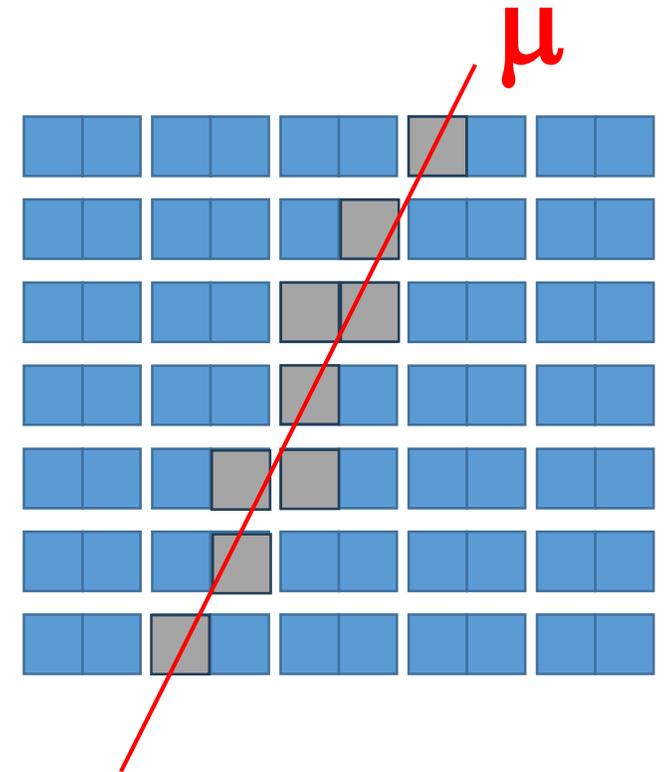


# Распределение суммарных энерговывделений в мюонном событии

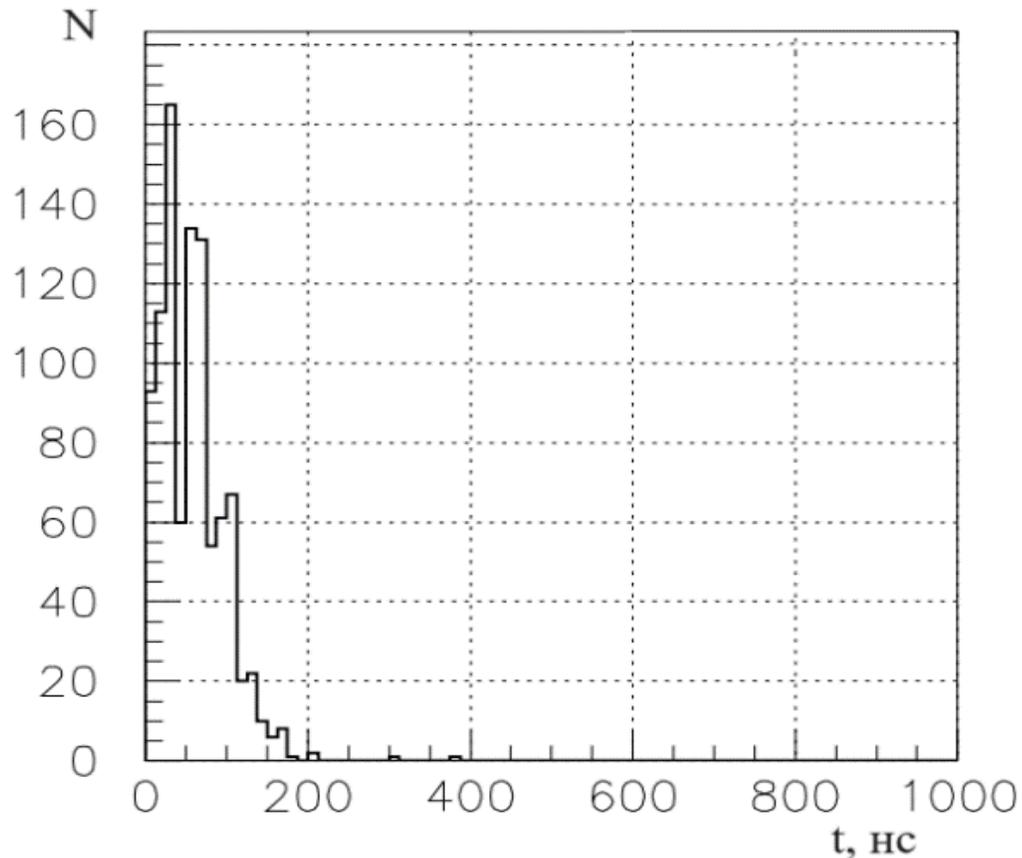


Область небольших значений соответствует мюонам, прошедшим через края детектора.

Область больших суммарных энерговывделений – это события, в которых зарегистрированы группы мюонов и электромагнитные и ядерные ливни, рожденные мюоном.



# Распределение времени срабатывания счетчиков в мюонном событии



В рамках этой работы было получено, что время между срабатываниями счетчиков в событии не превышает 200 нс.

В анализе этих данных использовалась статистика за 80 суток работы детектора. Отобраны события, в которых сработало больше, чем 20 счетчиков.

# Заключение

- Сделан доклад на 66-й Всероссийской научной конференции МФТИ, по результатам конференции были опубликованы тезисы.
- Планируется участие на 38 Всероссийской конференции по космическим лучам (ВККЛ), по результатам конференции будет публикация статьи.

Спасибо за внимание!