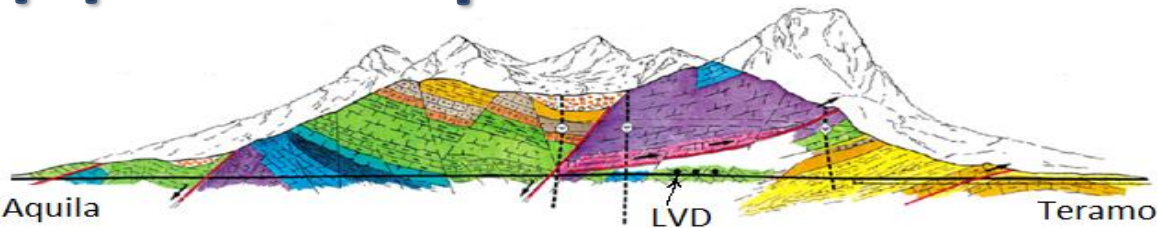


Сезонные вариации горизонтальных мюонов на глубине детектора LVD

Агафонова Наталья Юрьевна (ИЯИ РАН)
и Коллаборация LVD

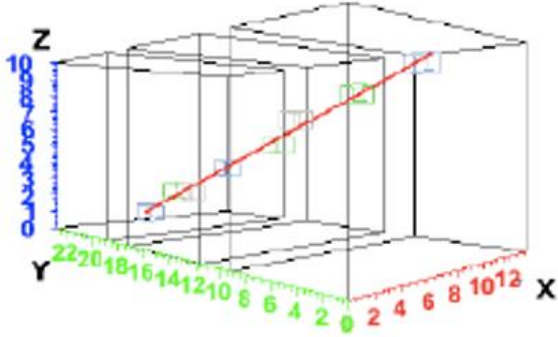
Детектор Большого Объема LVD



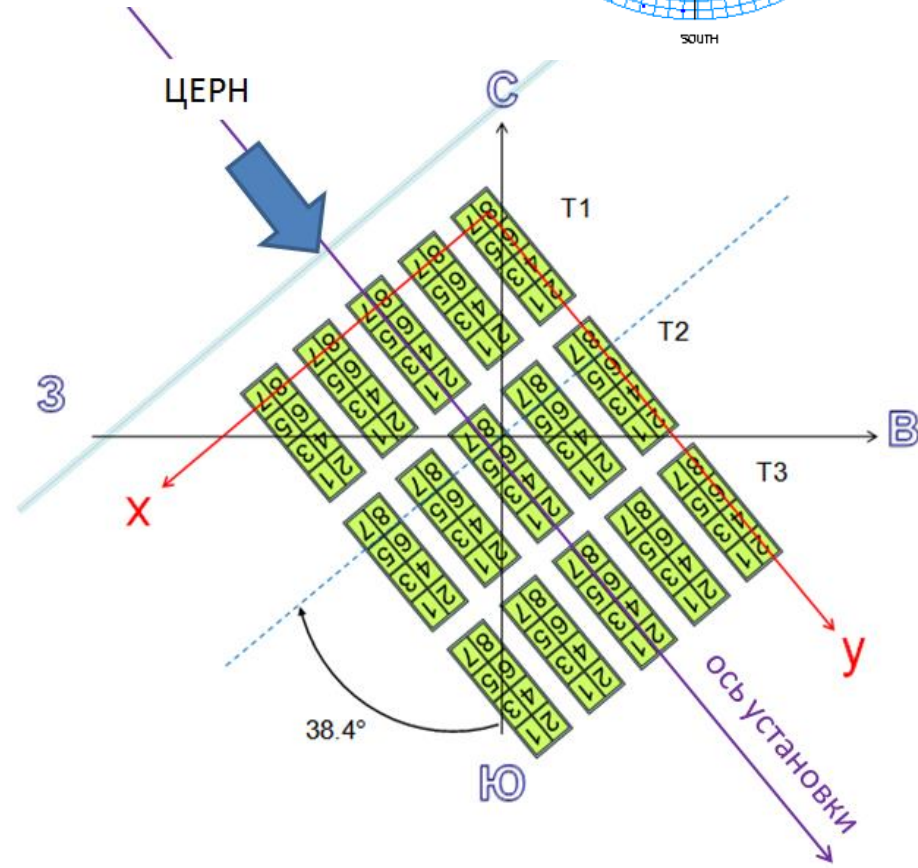
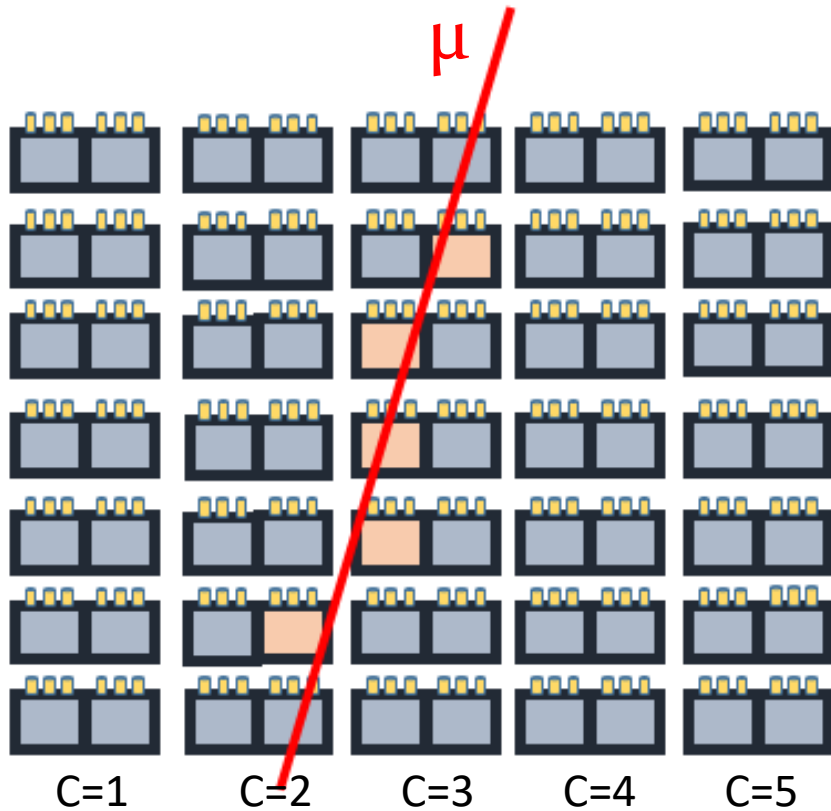
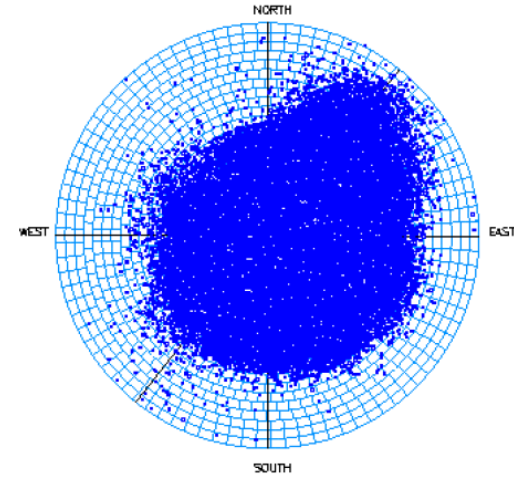
| | |
|---------------------------------------|----------------------------|
| Длина ×Ширина×Высота | 22.7×13.2×10м |
| Масса железа | 1020 т |
| Масса сцинтиллятора | 1008 т |
| Число сцинт. счетчиков | 840 |
| Число PMTs (ФЭУ) | 2520 |
| Средняя глубина (минимальная) | 3620 м.в.э. 3000 м.в.э. |
| Средняя энергия мюонов | 280 ГэВ |
| E_{μ} на уровне моря (мин.) | 1.3 ТэВ |
| Скорость счета мюонов (на 1 башню) | ~ 120 ч ⁻¹ |
| ε_{th} порог | 5 MeV |

Основная задача – **регистрация нейтрино от коллапсов звездных ядер**

Мюонные события в LVD



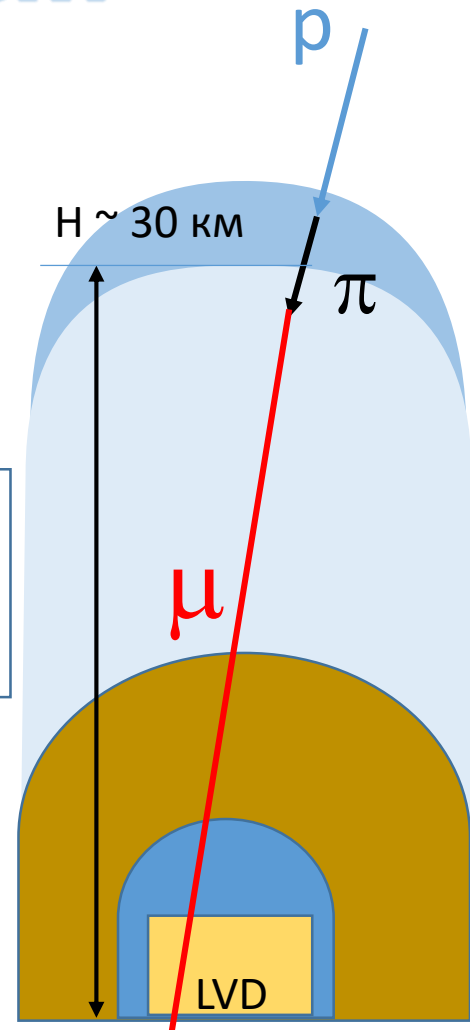
Угол максимальной интенсивности $\theta=28^\circ$



Температурный эффект

Для мюонов больших энергий (~ 280 ГэВ), которые мы регистрируем под землей, наблюдается положительный температурный эффект.

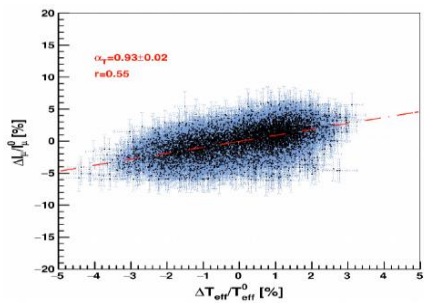
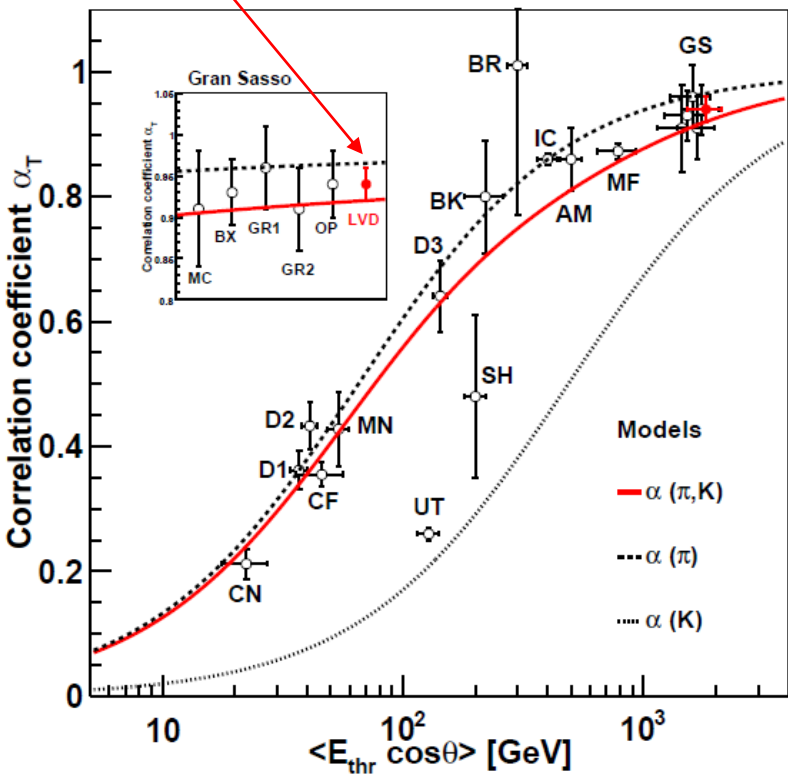
Это связано с тем, что больших глубин достигают, главным образом, мюоны от распадов пионов первого поколения генерации, число которых (распадов) увеличивается при расширении атмосферы и падении ее плотности в верхних слоях (на высоте ~ 30 км).



$$\alpha_T = 0.93 \pm 0.02$$

Связь изменения интенсивности мюонов с изменением температурного коэффициента

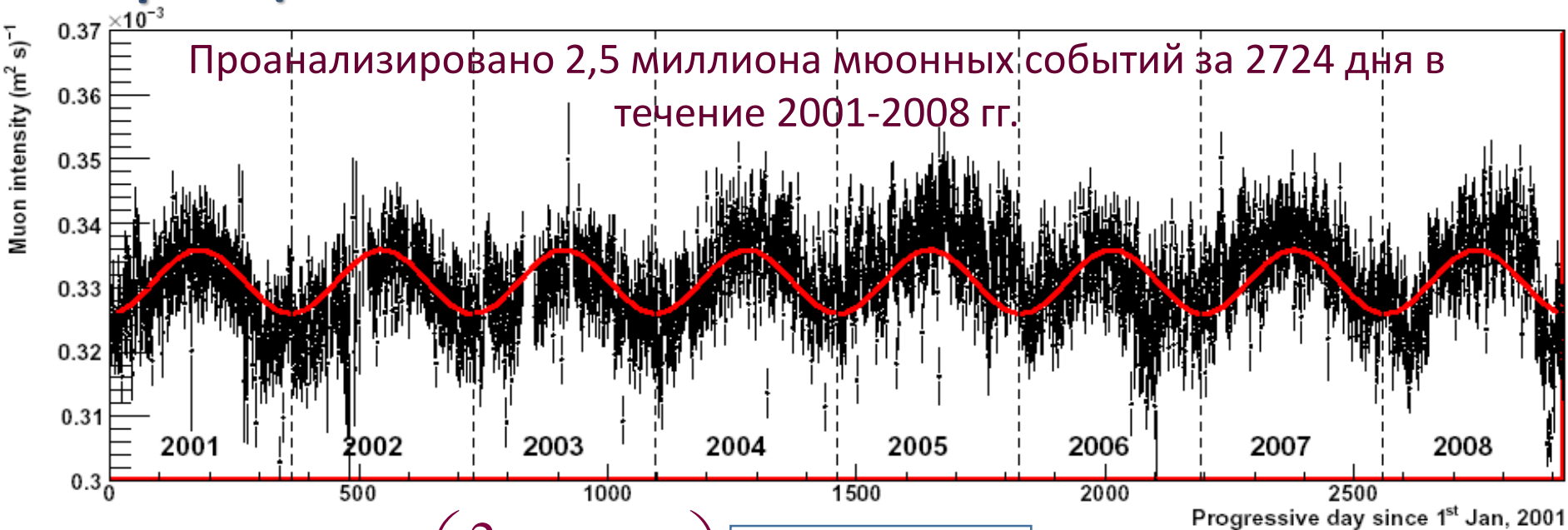
$$\Delta I_\mu / I_\mu^0 = \alpha_T \frac{\Delta T_{\text{eff}}}{T_{\text{eff}}^0}$$



корреляция между потоком мюонов и изменениями температуры

Вариации интенсивности полного потока мюонов

Проанализировано 2,5 миллиона мюонных событий за 2724 дня в течение 2001-2008 гг.



$$I_{\mu} = I_0^{\mu} + \delta I^{\mu} \cos\left(\frac{2\pi}{T}(t - t_0)\right)$$

Фаза модуляции

$t_0 = 185 \pm 15$ дней

Средняя интенсивность

интенсивность

$$I_0^{\mu} = (3.31 \pm 0.03) \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$$

Величина модуляции

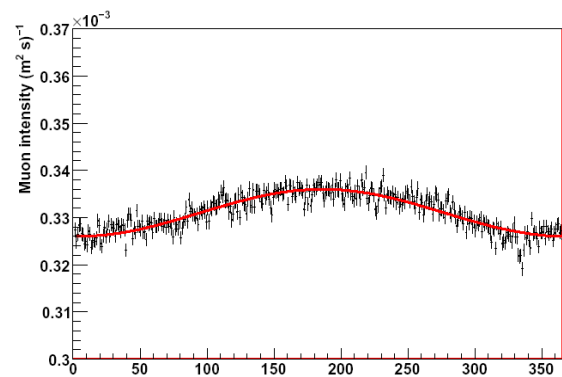
модуляции

$$\delta = (1.5 \pm 0.1)\%$$

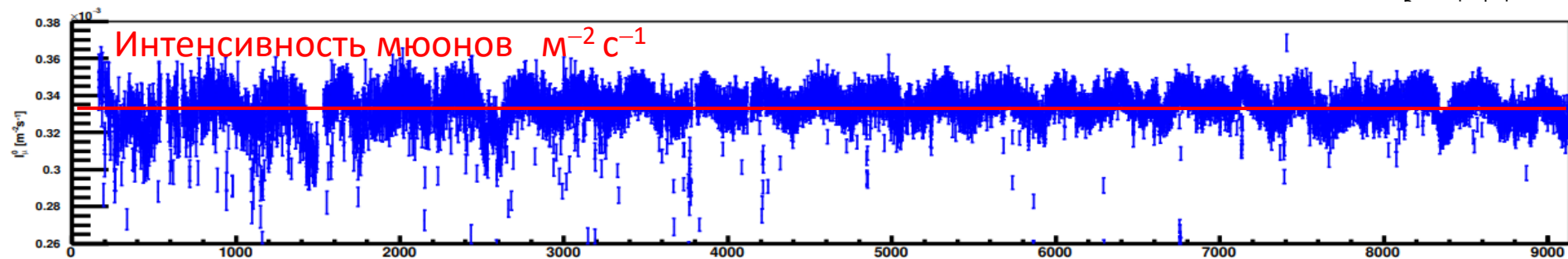
Период модуляции

модуляции

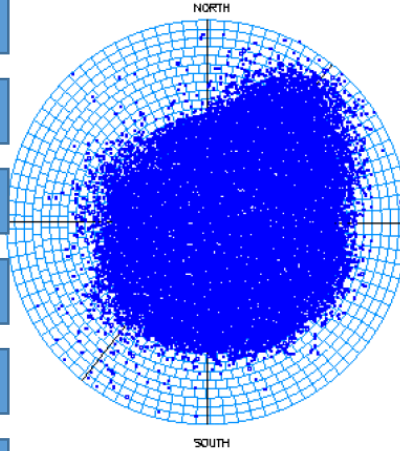
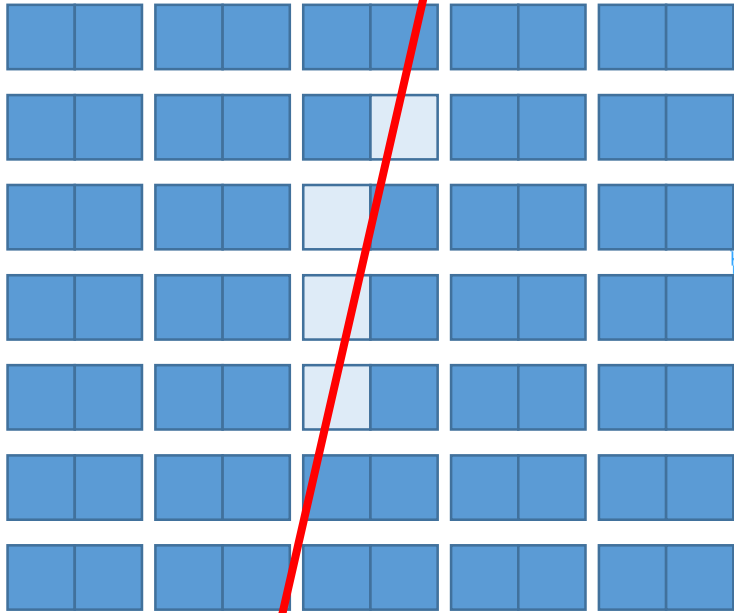
$$T = 367 \pm 15 \text{ дней}$$



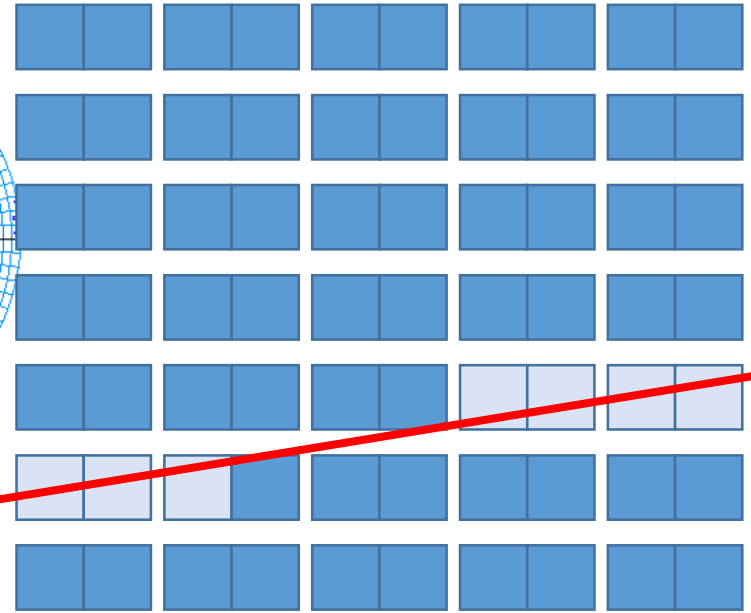
Интенсивность мюонов $\text{м}^{-2} \text{ с}^{-1}$



Околовертикальные мюоны

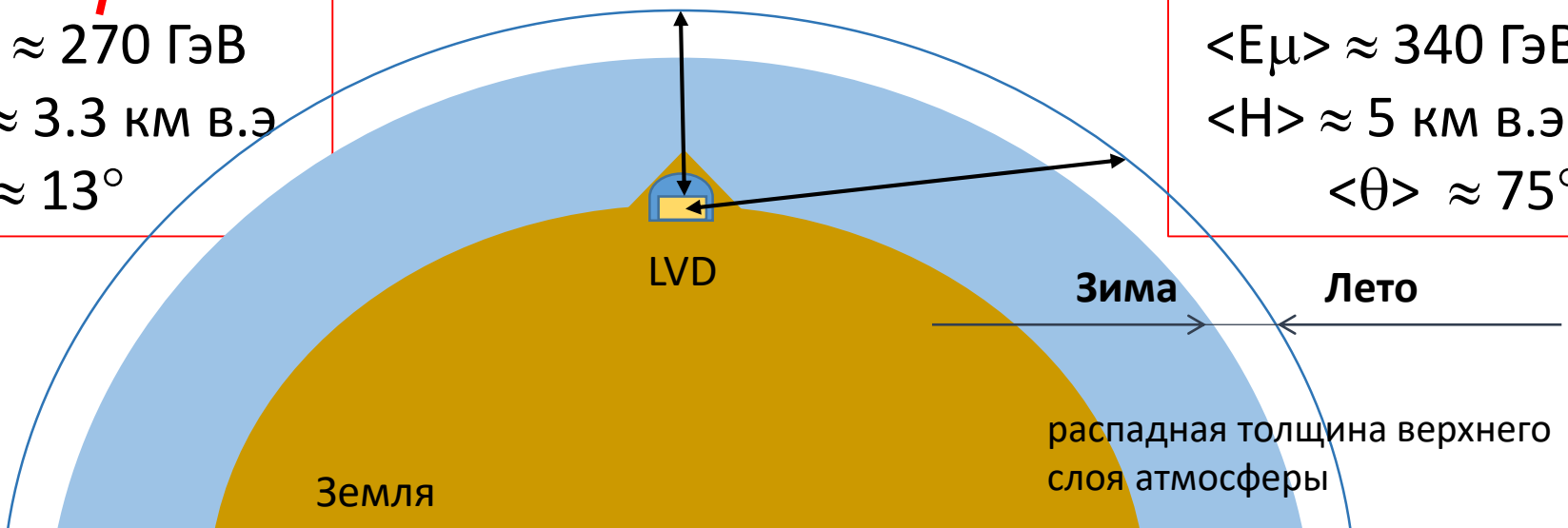


Окологоризонтальные мюоны



$\langle E_\mu \rangle \approx 270$ ГэВ
 $\langle H \rangle \approx 3.3$ км в.э.
 $\langle \theta \rangle \approx 13^\circ$

$\langle E_\mu \rangle \approx 340$ ГэВ
 $\langle H \rangle \approx 5$ км в.э.
 $\langle \theta \rangle \approx 75^\circ$



Определение геометрического фактора

Отбор:

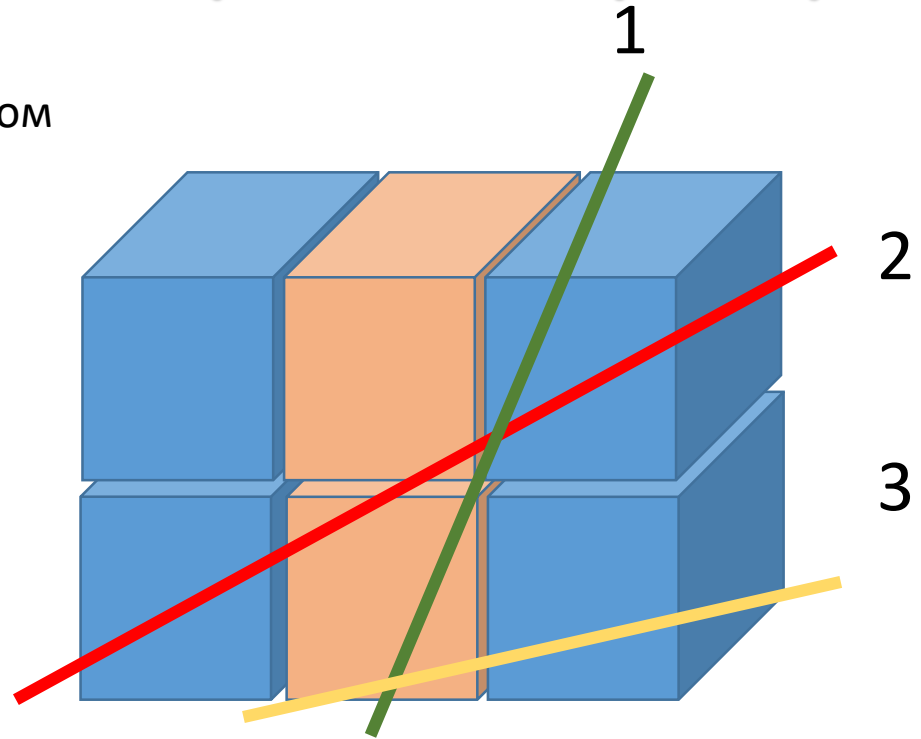
Мюонным считается событие, в котором сработало не меньше 2 счетчиков.

Пример на прохождении мюоном конструкции из 6 счетчиков:

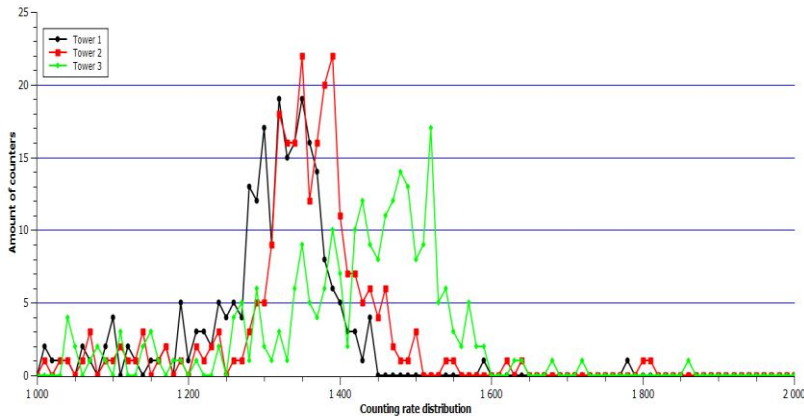
№1 – мюон не регистрируется

№2 – регистрируется

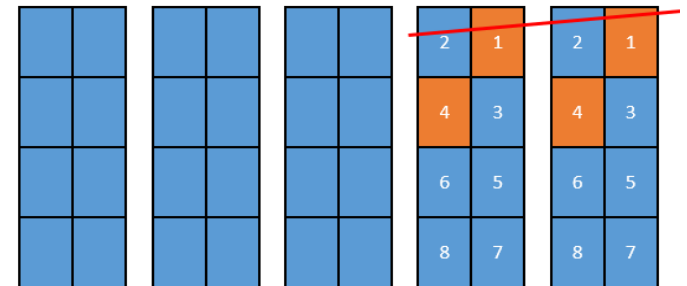
№3 – не регистрируется



метод «равного аксептанса»

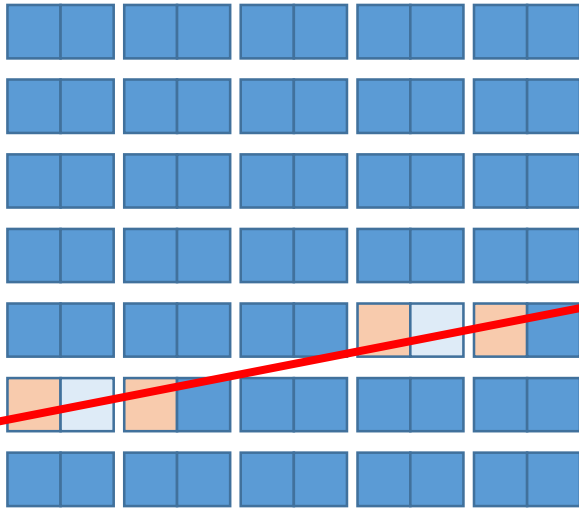


В каждом месяце отбирались пары счетчиков, так чтобы отличие темпа счета счетчика от среднего было не больше $|R_i - \langle R \rangle| = 10\%$.



Распределение темпов счета счетчиков мюонных импульсов с энергией $E > 50$ МэВ

Выделение горизонтальных мюонов



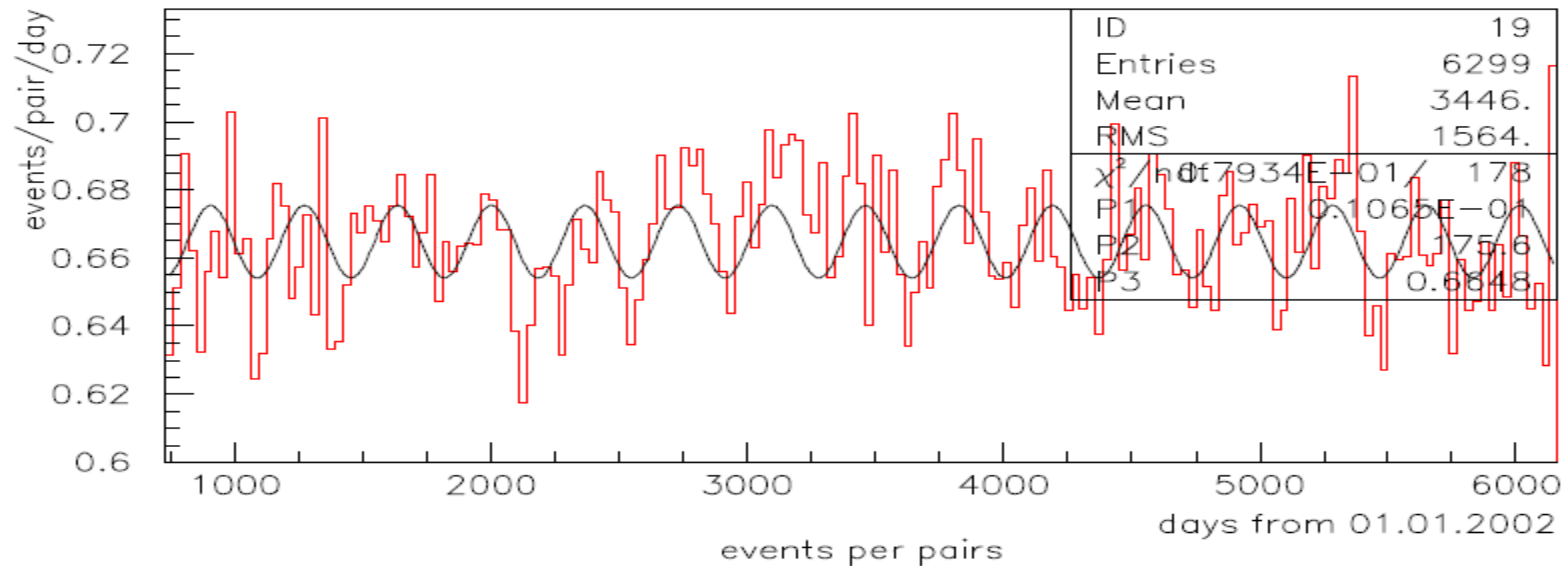
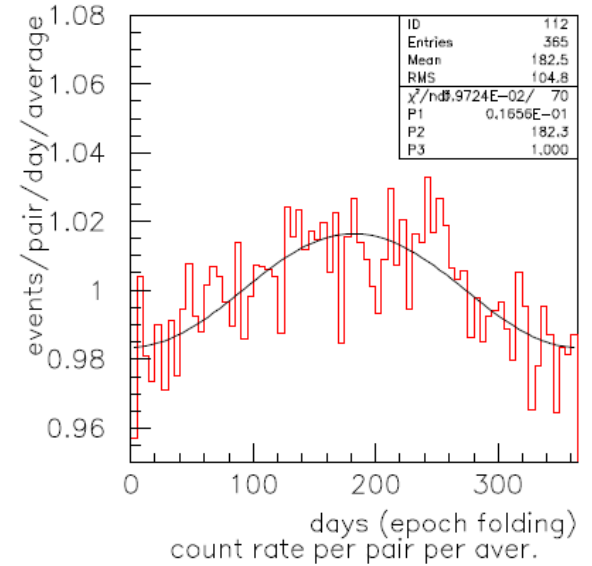
$E_{tr} > 50 \text{ МэВ}$
 $N_{сч} > 2$

$\langle H \rangle = 4980 \pm 20 \text{ м в.э.}$

$\langle \theta \rangle = 76 \pm 2$

$N_{hor} = 2.6\% N_{tot}$

Метод наложения эпох

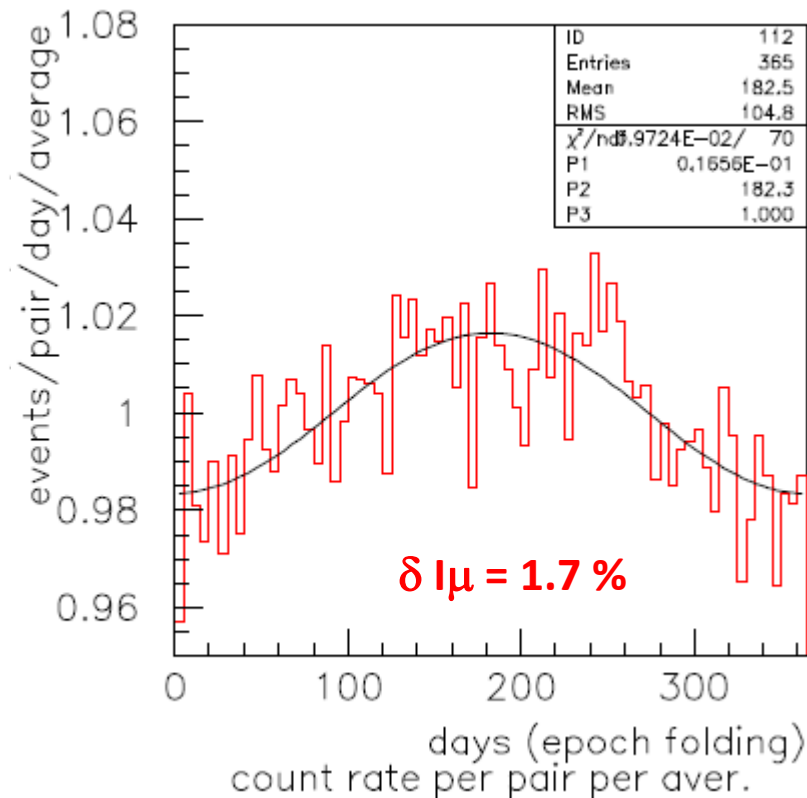
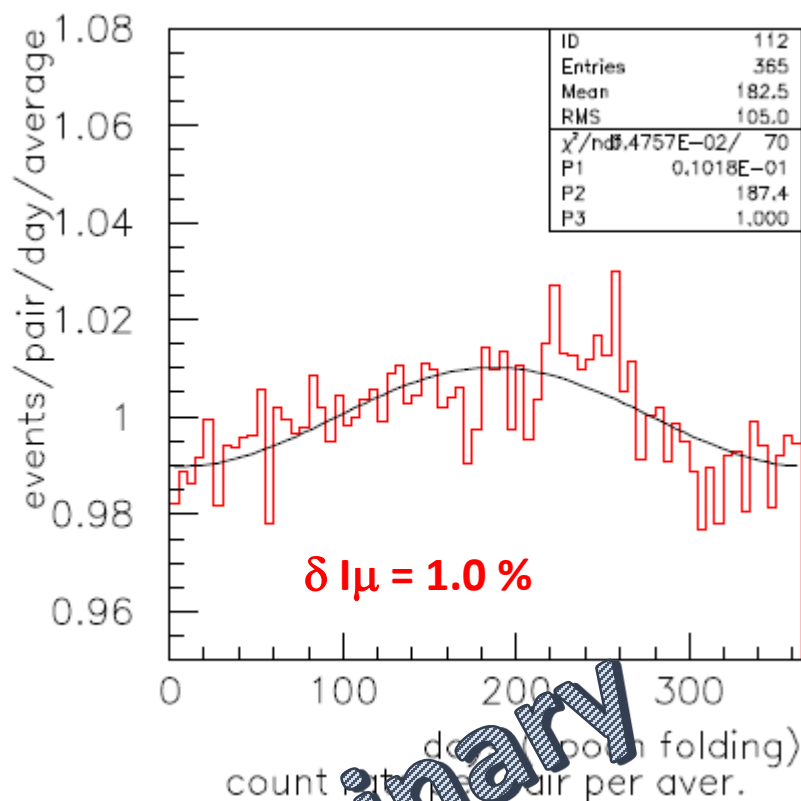


$N_{hor} =$
 $0.66 \text{ d}^{-1} \text{ pair}^{-1}$

$t_{max} = 175.6 \text{ d}$

$\delta =$
 $0.011/0.66 =$
 0.017

Метод наложения эпох



Preliminary

Разностный метод

Лето: 3731 соб./сч.

Зима: 3647 соб./сч.

$\delta I\mu = 1.1 \pm 0.06_{\text{стат}} \pm 0.2_{\text{сист}} \%$

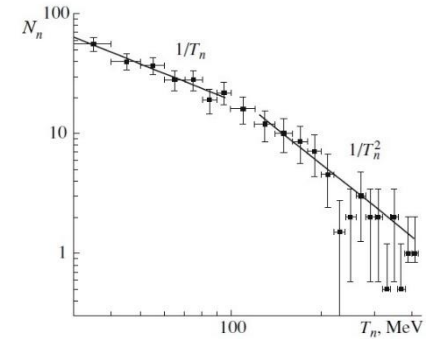
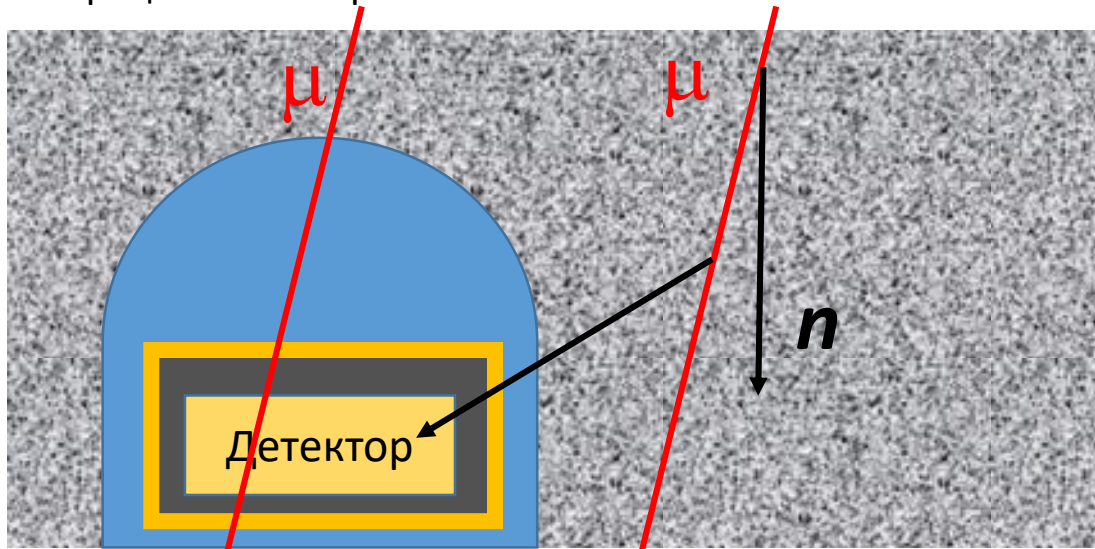
Лето: 763 соб./сч.

Зима: 736 соб./сч.

$\delta I\mu = 1.8 \pm 0.2_{\text{стат}} \pm 0.2_{\text{сист}} \%$

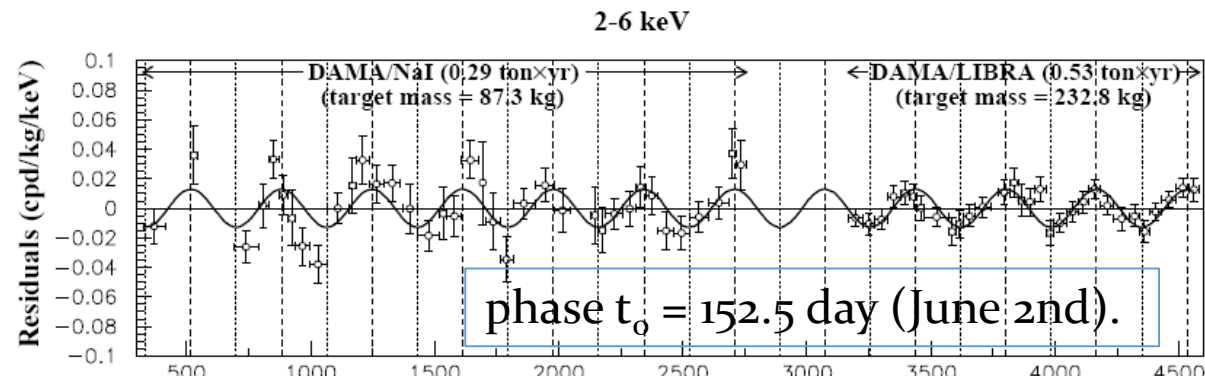
Прямой поиск частиц Темной Материи

При упругом рассеянии на ядрах вещества детектора WIMP'ы могут образовать ядра отдачи с энергиями 1 – 100 КэВ. Темп регистрации WIMP'ов должен испытывать модуляции вследствие сезонных вариаций скорости движения Земли относительно центра Галактики и галактического WIMP-«газа». За счет вращения Земли вокруг Солнца и движения Солнечной системы в Галактике темп регистрации летом превышает зимний темп .



Энергетический спектр нейтронов

DAMA/LIBRA, XENON100, XMASS прямое детектирование холодной темной материи – гипотетических частиц WIMP'ов

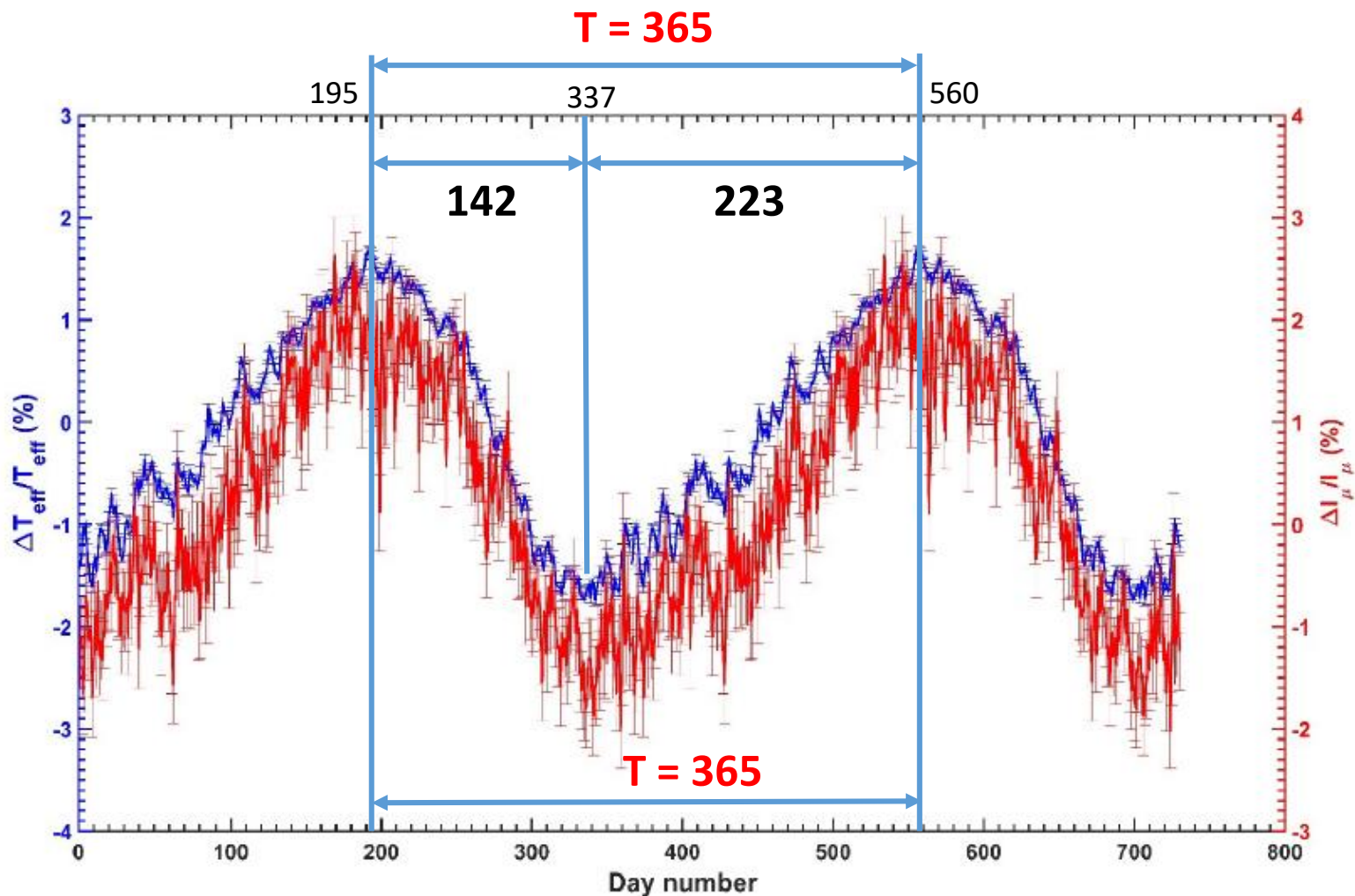


СПАСИБО

Сравнительная таблица

| | Все мюоны | Около вертикальные мюоны | Около горизонтальные мюоны |
|-------------------------------|-----------|--------------------------|----------------------------|
| δI_μ | 1.5% | 1.1% | 1.7% |
| $\langle H \rangle$, км в.э. | 3.72 | 3.57 | 4.98 |
| $\langle \theta \rangle$ | 28 | 13 | 75 |
| $\langle E \rangle$, ГэВ | 280 | 260 | 340 |
| I^{\max} | 185 | 182 | 178 |
| δN_n | 7.7% | 6.4% | 14% |

Вариации интенсивности мюонов: особенности – **не синусоида**



Вариации нейтронов, образованные горизонтальными мюонами