

Температурный эффект мюонной компоненты Якутского спектрографа космических лучей

Беркова¹ М.Д., Григорьев² В.Г., Преображенский¹ М.С., Зверев² А.С., Янке¹ В.Г.

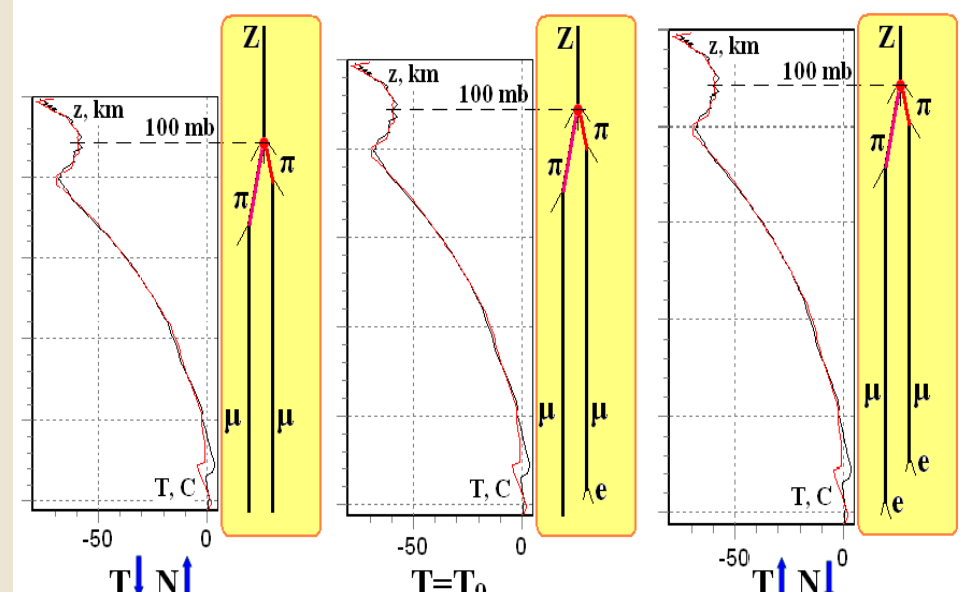
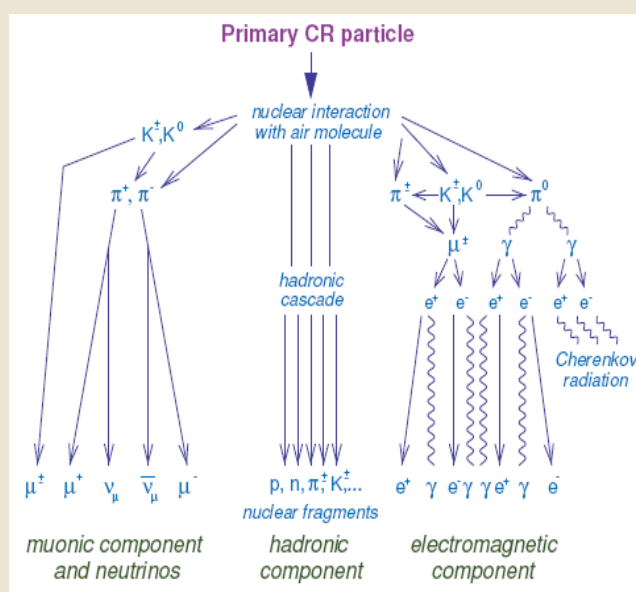
¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова (ИЗМИРАН)

² Institute of Cosmophysical Research and Aeronomy of the Siberian Branch of the RAN of Yu.G. Shafer (IKFIA)

Исследован температурный эффект мюонных детекторов Якутского спектрографа космических лучей, который состоит из ионизационной камеры и мюонного телескопа на уровнях 0, 7, 20 и 40 м.в.э.. Такой комплекс позволяет изучать потоки мюонов в широком диапазоне энергий (2- 300 ГэВ). В данной работе была исследована зависимость температурного эффекта мюонной компоненты от глубины и от зенитных углов, т.е. от энергии регистрируемых частиц. В качестве наблюдательных данных использовались результаты созданной базы данных мюонных детекторов mddb, краткое описание которой также приводится.

1. Температурный эффект

$$\tau_{\pi} = 2,6 \times 10^{-8} c \quad \tau_K = 1,2 \times 10^{-8} c \quad \tau_{\mu} = 2,2 \times 10^{-6} c$$



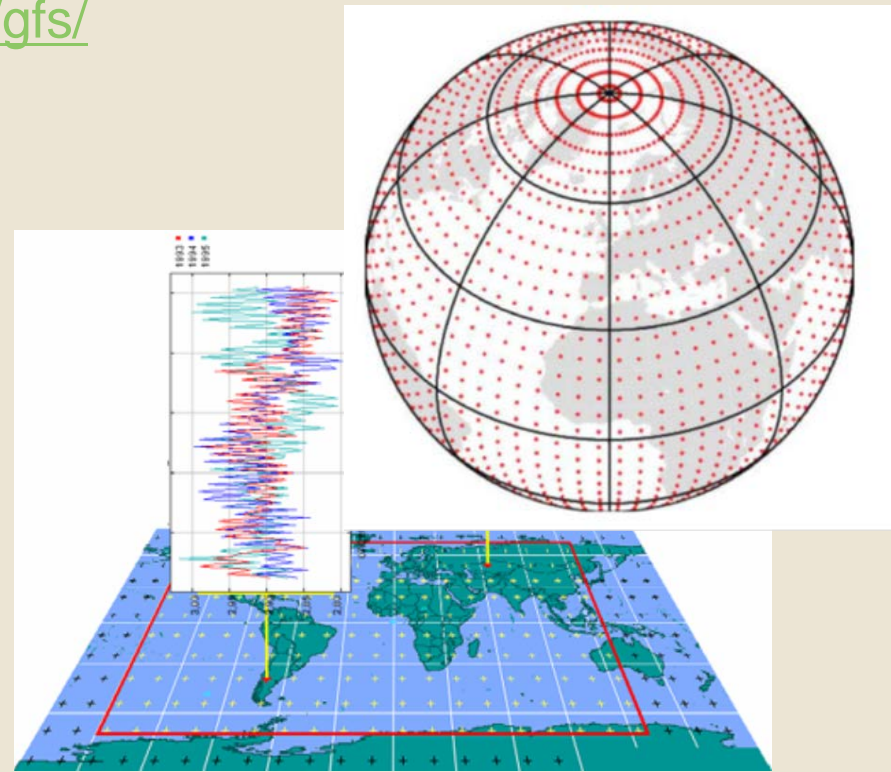
$\mu-e$ отрицательный ТЭ

$\pi-\mu$ положительный ТЭ

2. Температурные данные. GFS модель

В работе использованы данные температурного моделирования Глобальной прогностической системы (GFS - Global Forecast System), представляемые Национальным центром прогноза состояния окружающей среды (National Centers for Environmental Prediction — NCEP, США) NCEP, <http://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/gfs/>

GFS outputs: температура на 17 изобарических уровнях: 1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa для четырех моментов времени: 0, 6, 12 и 18 часов ежедневно. Данные интерполированы на сетке с разрешением $1^\circ \times 1^\circ$. Для получения данных с часовой скажностью проводится интерполяция кубическим сплайном по девяти узловым точкам.



3. Методы определения температурного эффекта

1. The Duperier method (A. Duperier, 1949)

$$\frac{\delta N}{N} = \alpha_H \delta H_{100} + \alpha_T \delta T_{100}$$

α_H decay coefficient (%/km) - negative effect
 α_T positive temperature coefficient (%/C)

2. The integral method (L. Dorman, 1954; Maeda & Wada, 1954; Olbert, 1953)

$$\frac{\delta N}{N} = \int_0^{h_0} W_T(h) \cdot \delta T(h) \cdot dh$$

$\delta T(h) = \delta T_B - \delta T$
 $W_T(h)$ - density of the temperature coefficient

2a. The method of the effective temperature (P. Barrett et al., 1952)

$$\frac{\delta N}{N} = \int_0^{h_0} W_T(h) \cdot \delta T(h) \cdot dh = \int_0^{h_0} W_T(h) dh \cdot \frac{\int_0^{h_0} W_T(h) \cdot \delta T(h) dh}{\int_0^{h_0} W_T(h) dh} = \alpha_T \delta T_{eff}$$

3. The method of mass-average temperature (Yu. Krestyanhnikov, 1976)

$$\frac{\delta N}{N} = \int_0^{h_0} W_T(h) \delta T(h) dh = \bar{\alpha}_T \int_0^{h_0} \delta T(h) \cdot dh = \bar{\alpha}_T \cdot \delta T_m$$

4. Дифференциальный и интегральный темп. коэфф.

интегральный метод = метод эффективной температуры

$$\frac{\delta N}{N} = \int_0^{h_0} W_T(h) \cdot \delta T(h) \cdot dh = \int_0^{h_0} W_T(h) dh \cdot \frac{\int_0^{h_0} W_T(h) \cdot \delta T(h) dh}{\int_0^{h_0} W_T(h) dh} = \alpha_T \delta T_{eff}$$

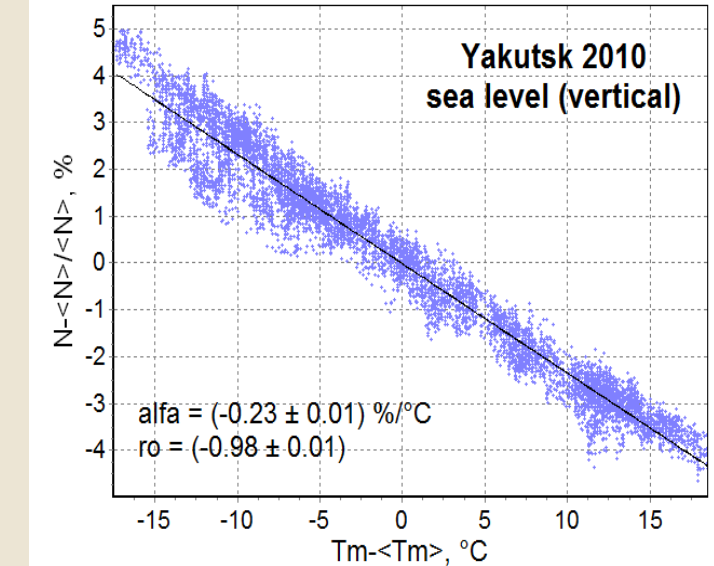
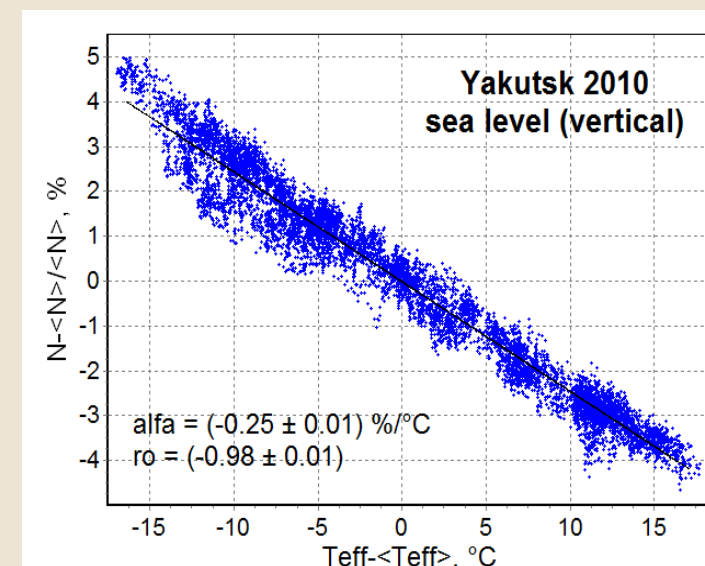
дифференциальный (плотность) интегральный температурный коэффициент

6. Результат. Регрессионные коэффициенты, полученные методом эффективной температуры, для всех телескопов (на уровне моря, 07, 20 и 40 м.в.э.) по часовым данным за 2010, 2015 и 2016 годы.

Detector	Zenith Angle	E, GeV	2010		2015		2016	
			$\alpha_{Teff} \text{ %/}^\circ\text{C}$ (± 0.005)	ρ (± 0.010)	$\alpha_{Teff} \text{ %/}^\circ\text{C}$ (± 0.005)	ρ (± 0.010)	$\alpha_{Teff} \text{ %/}^\circ\text{C}$ (± 0.005)	ρ (± 0.010)
00 mwe	V	47.1	-0.246	-0.981	-0.211	-0.932	-0.225	-0.955
	30°	54.7	-0.245	-0.876	-0.215	-0.928	-0.239	-0.954
	60°	95.4	-0.308	-0.955	-0.283	-0.939	-0.299	-0.945
07 mwe	V	63.7	-0.185	-0.972	-0.195	-0.933	-0.128	-0.923
	30°	73.7	-0.189	-0.964	-0.187	-0.930	-0.169	-0.910
	60°	127.1	-0.222	-0.884	-0.192	-0.856	-0.253	-0.756
20 mwe	V	94.2	-0.112	-0.867	-0.092	-0.872	-0.099	-0.848
	30°	108.6	-0.112	-0.824	-0.089	-0.807	-0.100	-0.789
	60°	183.1	-0.116	-0.490	-0.101	-0.490	-0.105	-0.477
40 mwe	V	139.4	0.002	0.033	-0.018	-0.571	-0.018	-0.582
	30°	159.7	-0.001	-0.008	-0.028	-0.430	-0.026	-0.404
	60°	260.6	-0.058	-0.157	-0.030	-0.110	-0.035	-0.126

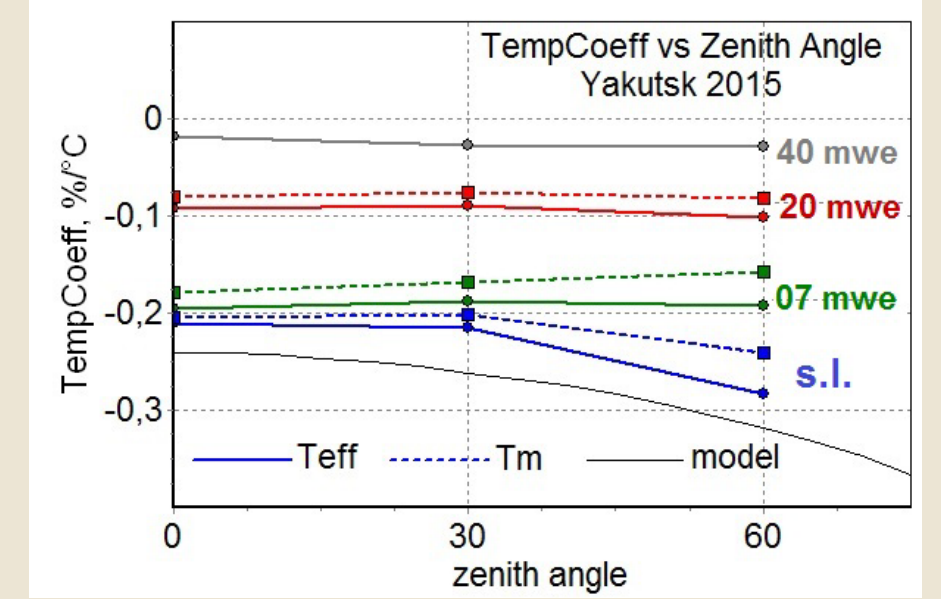
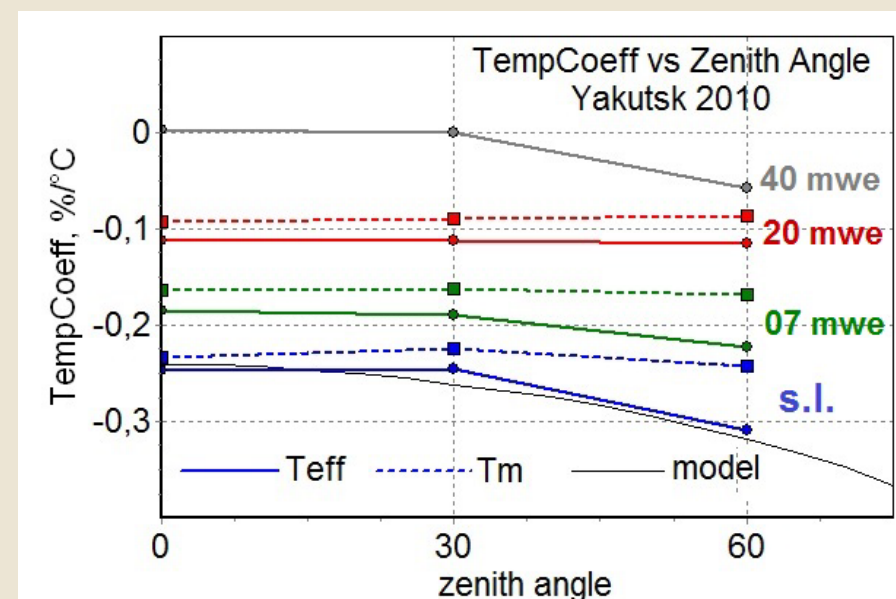
7. Результат. На примере наземного телескопа (вертикаль) представлены корреляционные зависимости скорости счета от изменений эффективной температуры T_{eff} (слева) и среднemasовой температуры T_m (справа) для 2010 г. Высокая корреляция и близость значений полученных температурных коэффициентов в обоих случаях показывает:

- 1) применимость обоих методов для наземных телескопов
- 2) правильно используемые дифференциальные температурные коэффициенты для метода эффективной температуры применимо к данному телескопу.

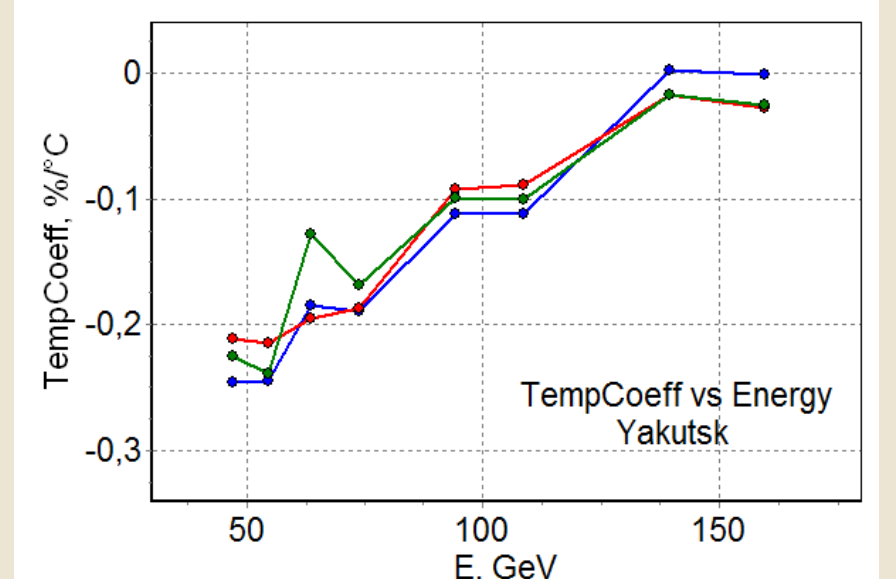
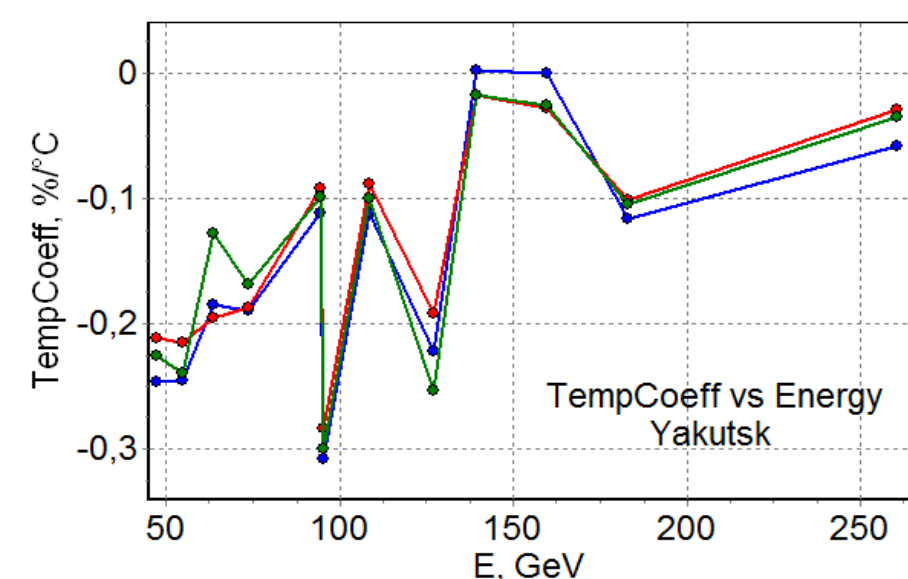


8. Результат. Зависимость температурных коэффициентов от зенитного угла, полученных по часовым данным за 2010 и 2015 годы для мюонных телескопов в Якутске: на уровне моря - синие кривые, 7 м.в.э. - зеленые кривые, 20 м.в.э. - красные кривые и 40 м.в.э. - серые кривые.

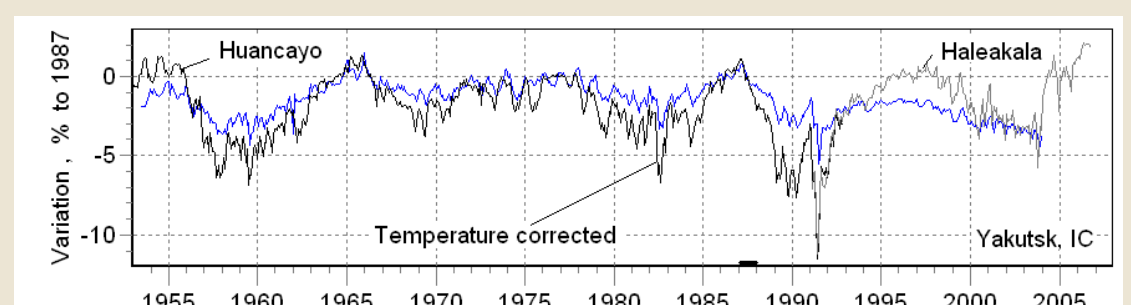
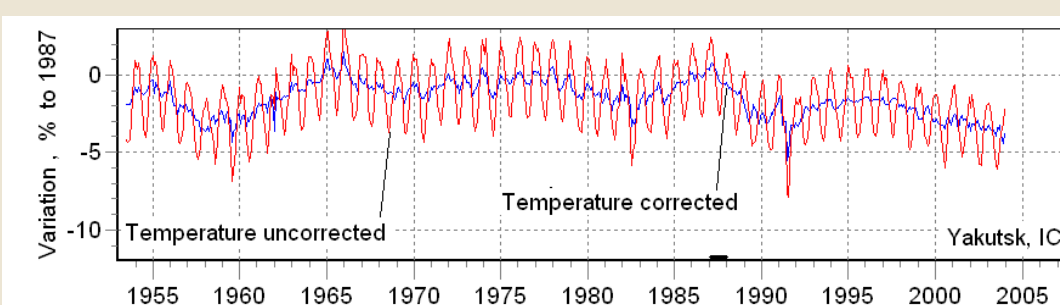
Кружки - значения, полученные методом эффективной температуры, квадраты - значения, полученные методом среднemasовой температуры.



9. Результат. На графике слева предпринята попытка представить все полученные значения температурных коэффициентов в зависимости от медианных энергий, соответствующих каждому направлению регистрации мюонов. В принципе видно, что с ростом энергии наблюдается уменьшение отрицательной составляющей температурного эффекта, что приводит практически к его полному исчезновению для телескопа на уровне 40 м.в.э., как и предсказывается теорией. Наблюдаемые отклонения от данного тренда соответствуют углам регистрации 60°. Если исключить данные для этих углов, то получится график, представленный справа.



10. Результат. Пример коррекции данных ионизационной камеры Якутск



Выводы

1. Для мюонного спектрографа в Якутске по часовым данным за 2010, 2015 и 2016 годы методом эффективной температуры проведен анализ температурного эффекта для всех 5 регистрируемых направлений (вертикаль, $\pm 30^\circ$ и $\pm 60^\circ$) для телескопов на уровнях 0, 7, 20 и 40 м.в.э.
2. Проведена проверка используемых плотностей температурных коэффициентов и проверка применимости различных методов.
3. С ростом энергий регистрируемых частиц, температурные коэффициенты заметно отклоняются от модельной кривой в сторону уменьшения абсолютных значений, что свидетельствует о существенном увеличении положительной составляющей температурного эффекта. Аналогичная картина наблюдалась и в предыдущей работе авторов на мюонном телескопе Nagoya [<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1701/1701.04030.pdf>]
4. Не понятна причина несоответствия тренду значений температурных коэффициентов для углов 60°



Мюонные телескопы на газоразрядных счетчиках СГМ-14 (3,5 м2) с 1973

С 2015 года на всех уровнях дополнительно установлены сцинтилляционные телескопы (8 м2)