

ID=80

**О происхождении
сигналов римской и
мэрилендской
гравитационных антенн 23
февраля 1987 г.**

Наталья Агафонова,

Алексей Мальгин

ИЯИ РАН

**О происхождении
сигналов римской
и мэрилендской
гравитационных
антенн
23 февраля 1987 г.**

Мальгин Алексей

26.04.1946 – 15.08.2020

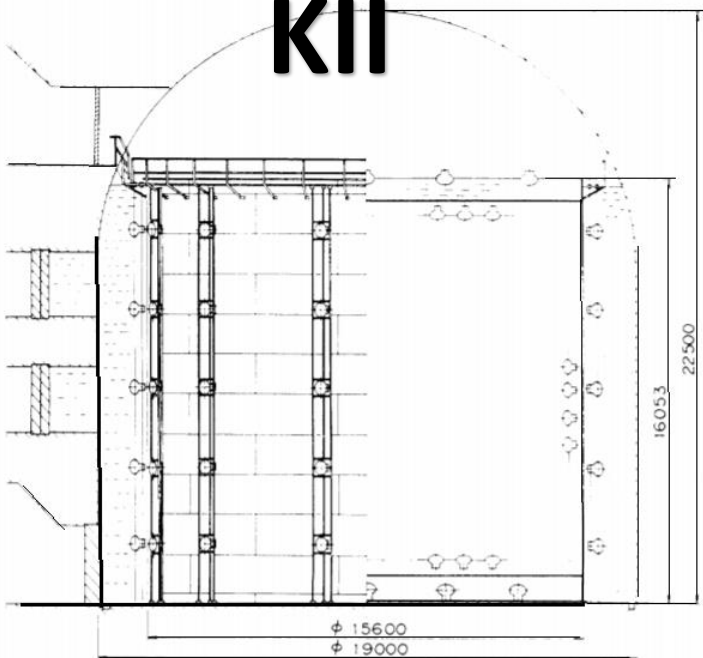


23 Февраля 1987г
Вспышка Сверхновой SN1987A

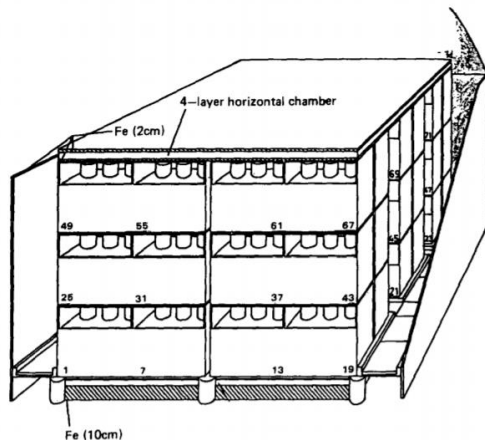


Под Монбланом, на установке LSD – Liquid Scintillation Detector - 1987г

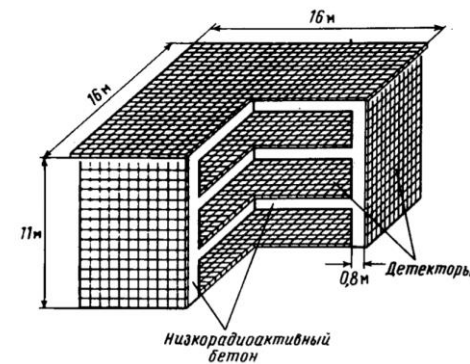
KII



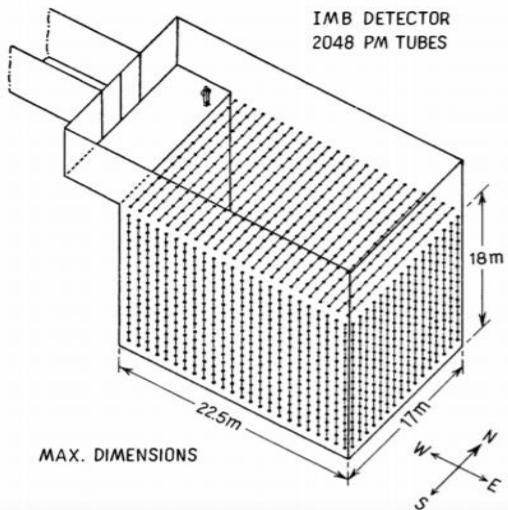
LSD



БПСТ



IMB



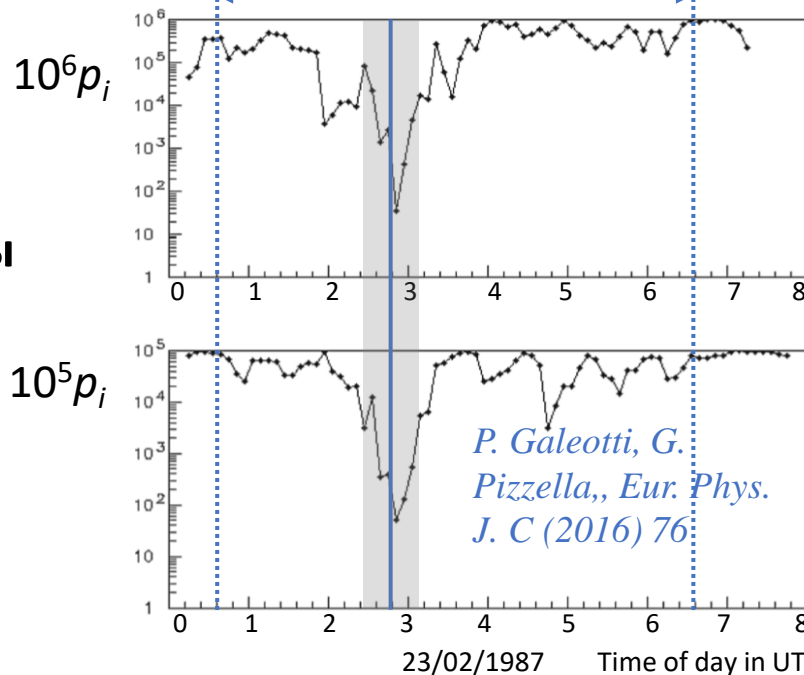
совпадения событий (импульсов)
6 детекторов в течении 6 часов!

Грав. антенны

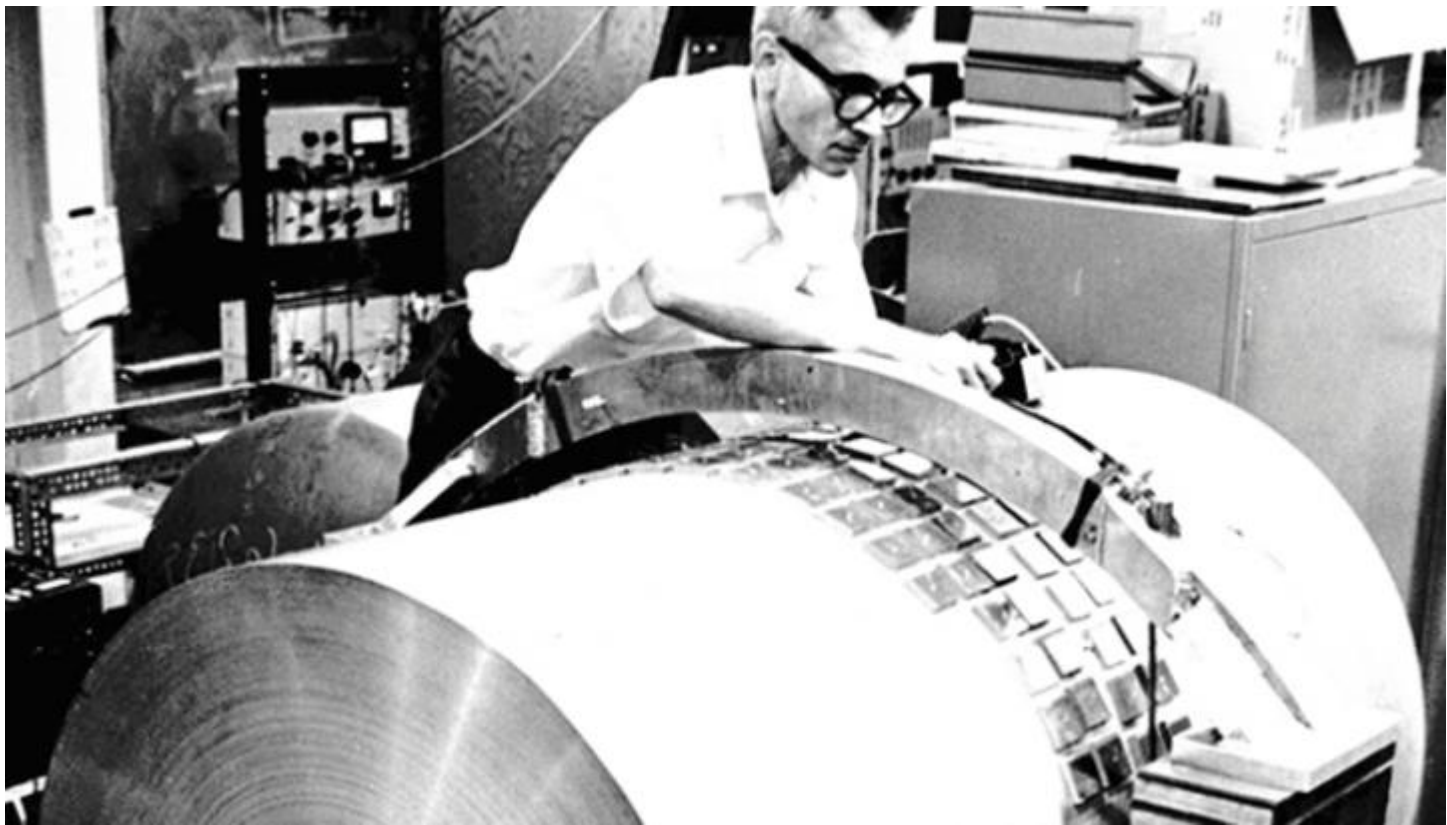
RGA
+
MGA

Время LSD

6 часов

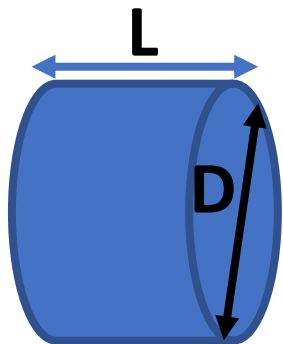


Твердотельные резонансные антенны RGA (Рим) и MGA (Мэриленд)



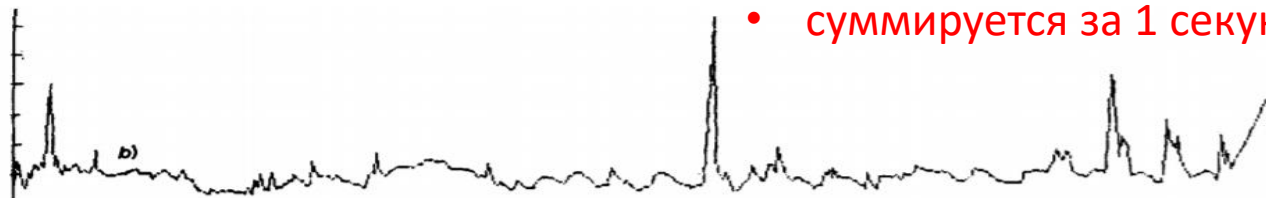
В 1969 году Джозеф Вебер ([Joseph Weber](#)) из Мэрилендского университета утверждал, что гравитационные волны реальны и ему удалось обнаружить их с помощью детектора собственного изобретения.

Твердотельные резонансные антенны RGA (Рим) и MGA (Мэриленд)

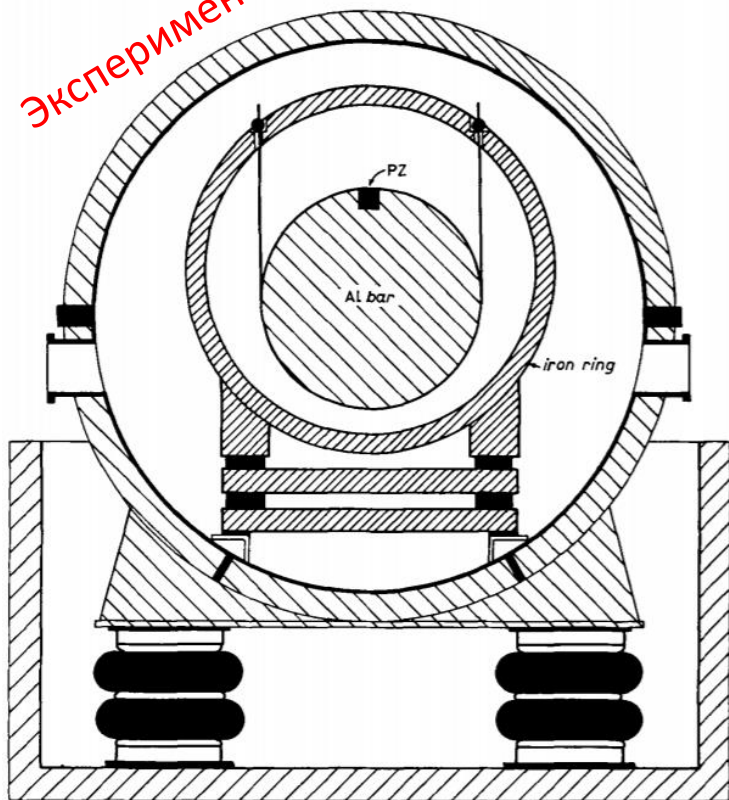


Сигнал - энергия возбуждения антенны:

- выражается в кельвинах (K);
- суммируется за 1 секунду.



Эксперимент Вебера



	RGA	MGA
Координаты	42.0°N 12.5°E	39.0°N 77.0°W
Высота над уровнем моря $H_{s.l.}$, м	+40	+20
Вещество, форма	алюминий, цилиндр L=3.0м, D=0.6м	алюминий, цилиндр L=1.55м, D=1.0м
Масса, т	2.3	3.1
Основная собственная частота продольных колебаний, Hz	858	1660
Ориентация	29° E-W	0° E-W
Точность часов	± 0.1 с	± 0.1 с
Эффективная температура	29 K	31 K

Data Recorded by the Rome Room Temperature Gravitational Wave Antenna, during the Supernova SN 1987a in the Large Magellanic Cloud^(§).

E. AMALDI(*)(**), P. BONIFAZI(***)(**), M. G. CASTELLANO(***)(**),
 E. COCCIA(**)(**), C. COSMELLI(*)(**), S. FRASCA(*)(**), M. GABELLIERI(*)
 I. MODENA(**)(**), G. V. PALLOTTINO(*)(**), G. PIZZELLA(*)(**),
 P. RAPAGNANI(*)(**), F. RICCI(*)(**) and G. VANNARONI(***)(**)

(*) *Dipartimento di Fisica dell'Università «La Sapienza» - Roma*

(**) *Dipartimento di Fisica dell'Università di «Tor Vergata» - Roma*

(***) *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare - Roma*

(***) *Istituto di Fisica dello Spazio Interplanetario del CNR*

(received 9 April 1987; accepted in final form 8 May 1987)

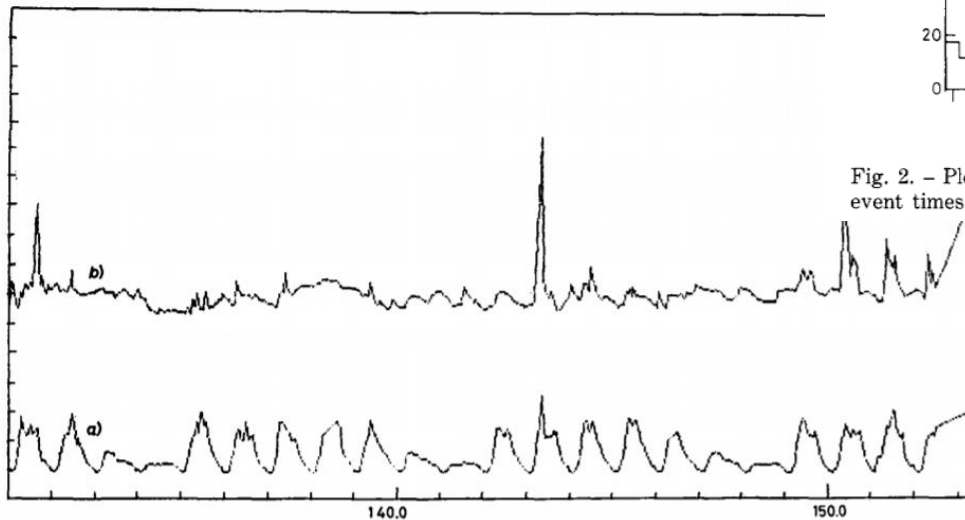


Fig. 9. - Hourly averages of the seismic channels a) 3 (low frequency) and b) 6 (high frequency) from 10 to 30 May 1984. 2.5 V f.s.

T. Bronzini, S. Frasca, G. Pizzella, et al., Il Nuovo Cimento C (1985) 8: 300.

J. Weber, Phys. Rev. Lett., v.22, N24 (1969) 1320-1324

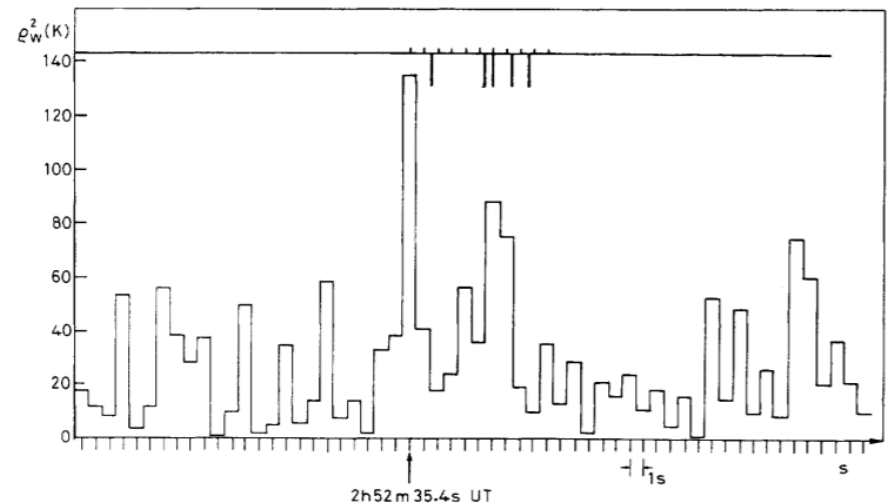
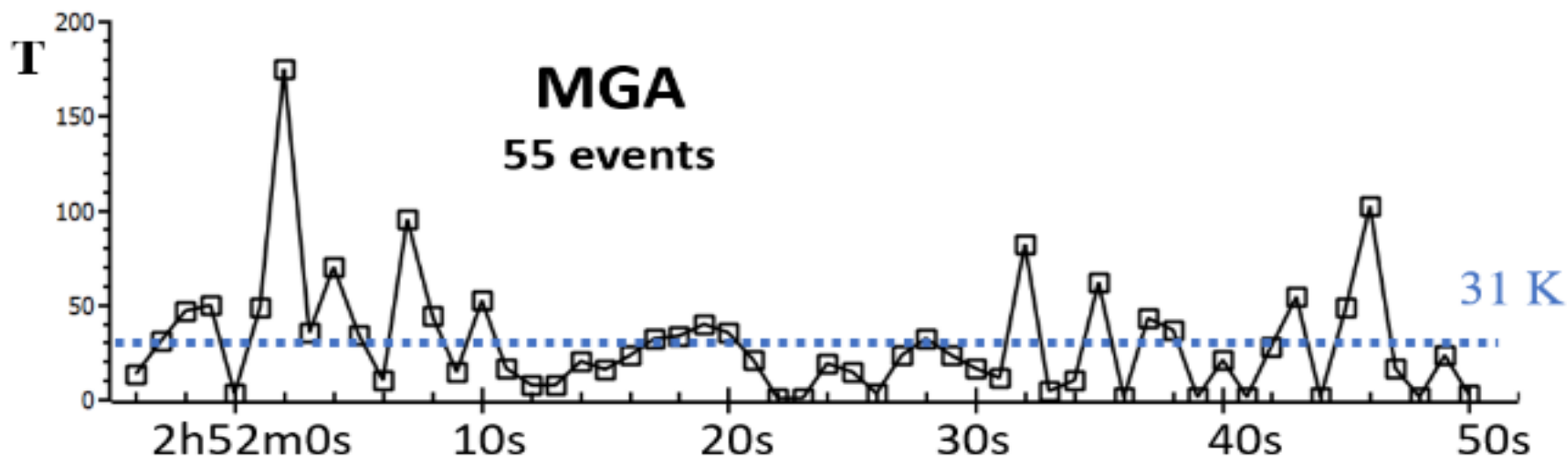
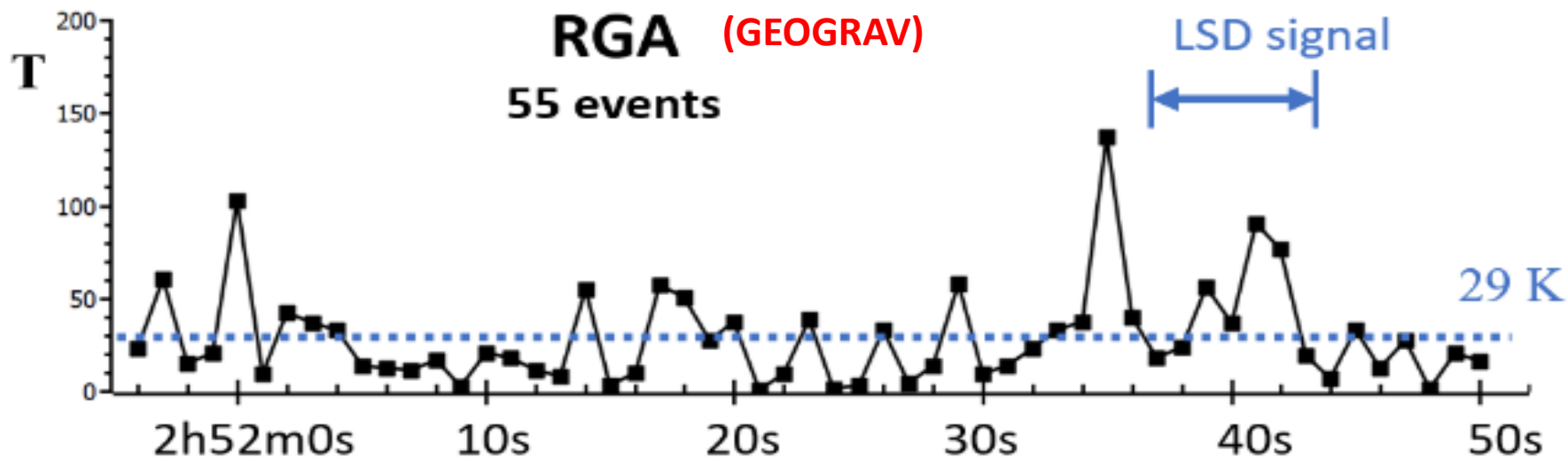
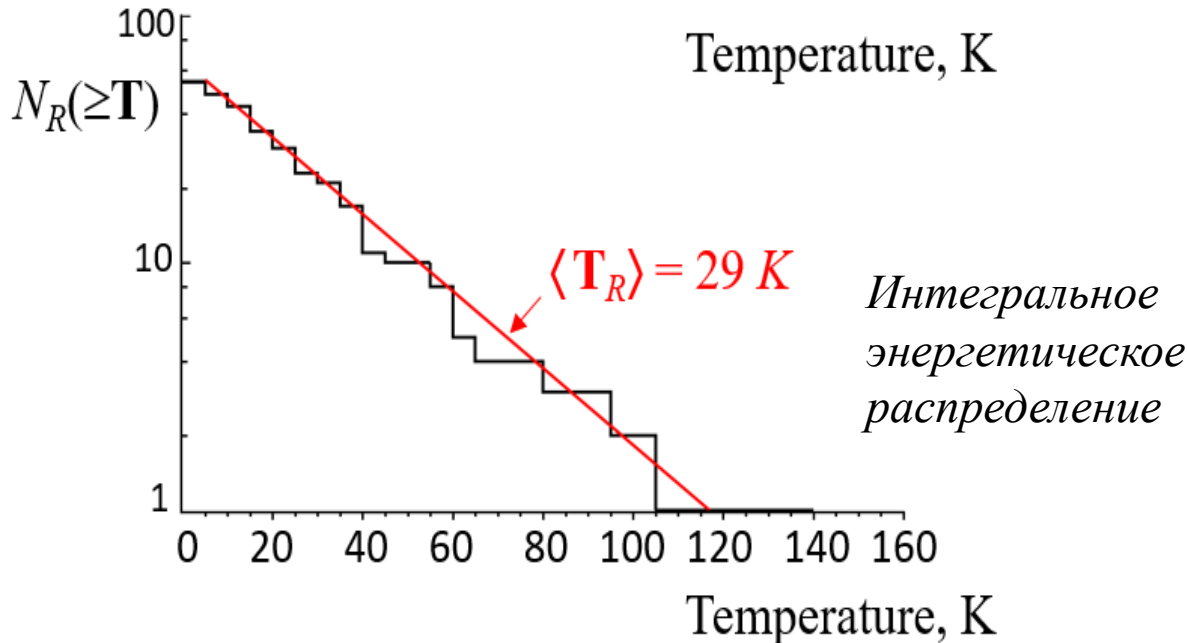
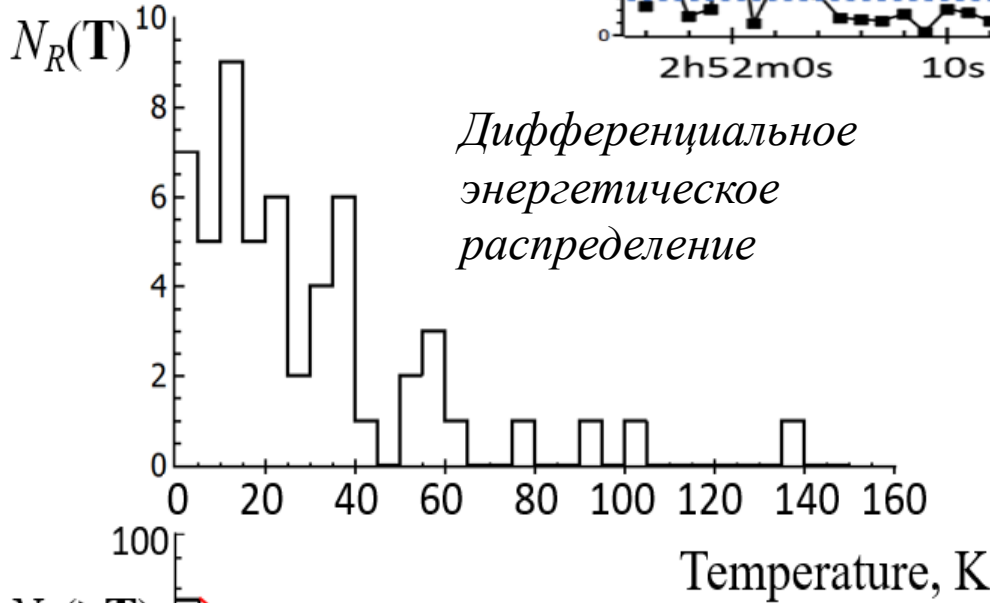
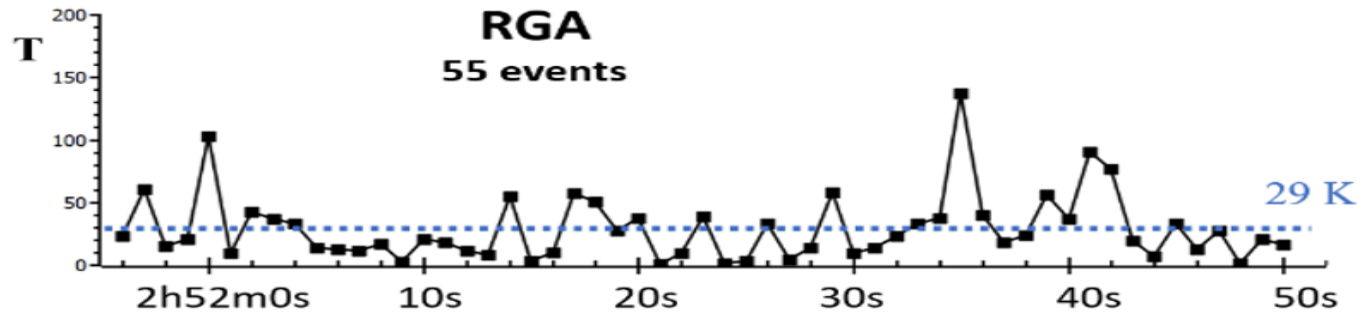


Fig. 2. - Plot of the WK filtered data vs. UT with the upper five segments indicating the neutrino event times measured by the LSD collaboration [3].



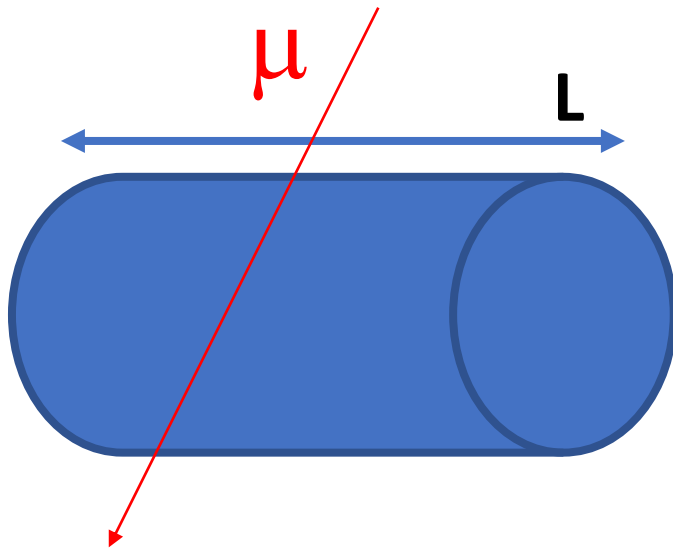
События RGA и MGA в окрестности сигнала LSD в 2h52m UT 23/02/1987.

RGA



Гипотеза:

нельзя исключить возможность формирования распределения под действием потока атмосферных мюонов. Каждое событие RGA (и MGA) создается суммарным энергвозбуждением GA в течение одной секунды.



При горизонтальном расположении RGA её за секунду, в среднем, пересекали 290 мюонов:

$$\bar{N}_\mu = S I_\mu F$$

$$\bar{N}_\mu = 1.8 \text{ м}^2 \times 130 \mu \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1} \times 1.24 = 290 \mu \cdot \text{с}^{-1};$$

$S = 1.8 \text{ м}^2$ – горизонтальное сечение RGA,

$I_\mu = 130 \mu \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ – полный поток мюонов на уровне моря ($\bar{E}_\mu \approx 4 \text{ ГэВ}$),

$F = 1.24$ – геометрический фактор,

учитывающий форму RGA (цилиндр) и угловую зависимость интенсивности

мюонов $I_\mu(\theta) \propto \cos^2\theta$.

Средняя геометрическая длина треков $\bar{\Lambda}$ в цилиндре определяется его размерами и угловым распределением

мюонов. Для оценки можно принять:

$$\bar{\Lambda} = 2RL/(R + L) = 0.55 \text{ м} (R = 0.3 \text{ м}, L = 3 \text{ м}).$$

Полное энергосодержание мюонов $\epsilon_{\mu}^{\text{tot}}$, пересекающих ГА за 1с:

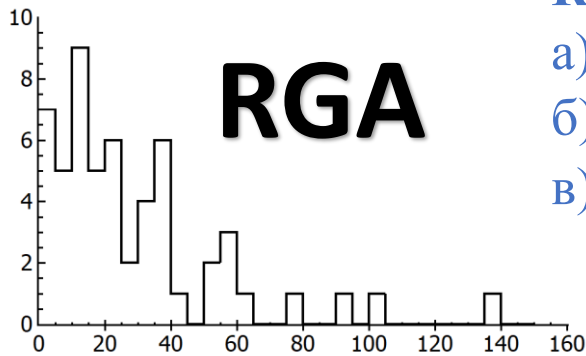
$$\epsilon_{\mu}^{\text{tot}} = N_{\mu} \epsilon \bar{l}_{\mu} = 86 \text{ ГэВ},$$

N_{μ} – число мюонов, пересекающих RGA за секунду;

ϵ – удельные энергопотери мюонов $\sim 2 \text{ МэВ} \cdot (\text{г}/\text{см}^2)^{-1}$;

$\bar{l}_{\mu} = \Lambda \times \rho_{\text{Al}} = 55 \text{ см} \times 2.7 \text{ г}/\text{см}^3$ – средняя длина пробегов мюонов, пересекающих ГА

в течение секунды.



RGA

Компоненты ежесекундных флуктуаций величины $\epsilon_{\mu}^{\text{tot}}$

а) флуктуации ΔN_{μ} ;

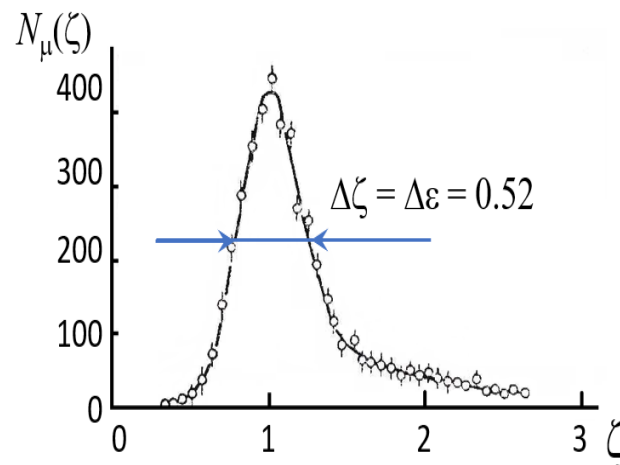
б) флуктуации средней длины треков мюонов \bar{l}_{μ} ;

в) флуктуации удельных энергопотерь $\Delta \epsilon$.

$$\Delta \epsilon_{\mu}^{\text{tot}} = \sqrt{(\Delta N_{\mu})^2 + (\Delta \epsilon)^2 + (\bar{l}_{\mu})^2}.$$

Спектр ионизационных потерь мюонов со средней энергией 4 ГэВ имеет ассиметричный вид, но шире распределения потерь Ландау примерно в 2 раза.

Его разрешение $\Delta \epsilon = 0.52$

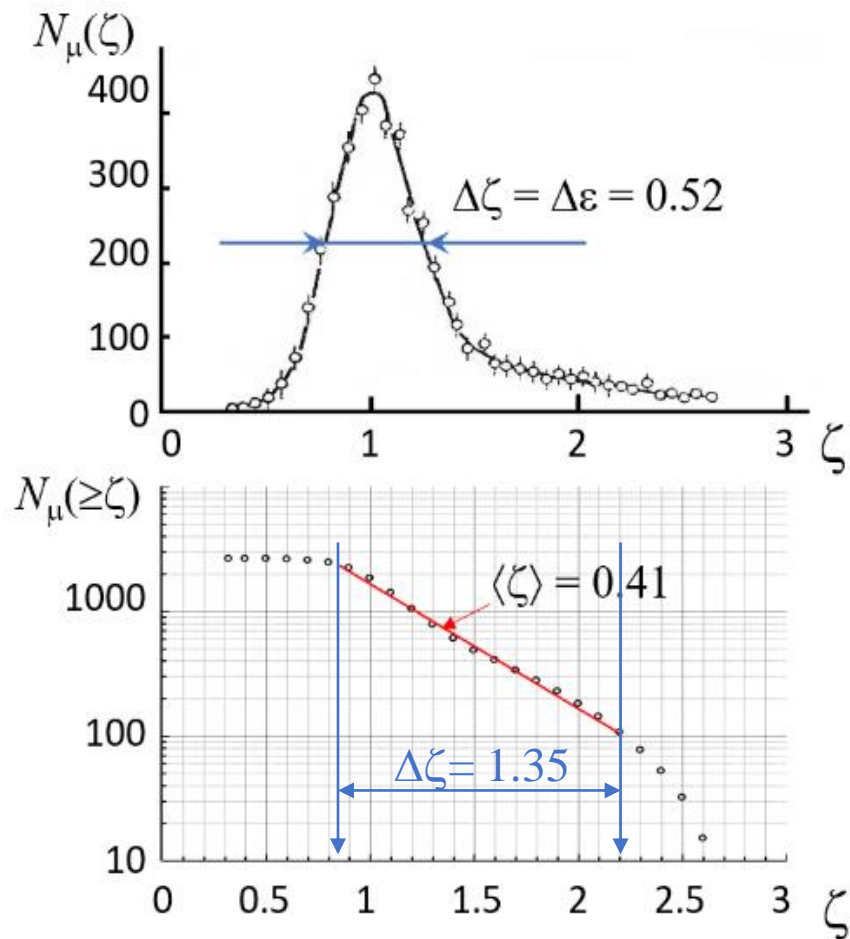


$$\Delta N_{\mu} = 2.35\sigma = 0.14.$$

$$\Delta \bar{l}_{\mu} \leq \Delta N_{\mu}.$$

$$\Delta \epsilon = 0.52$$

Спектр ионизационных потерь мюонов, измеренный на уровне моря

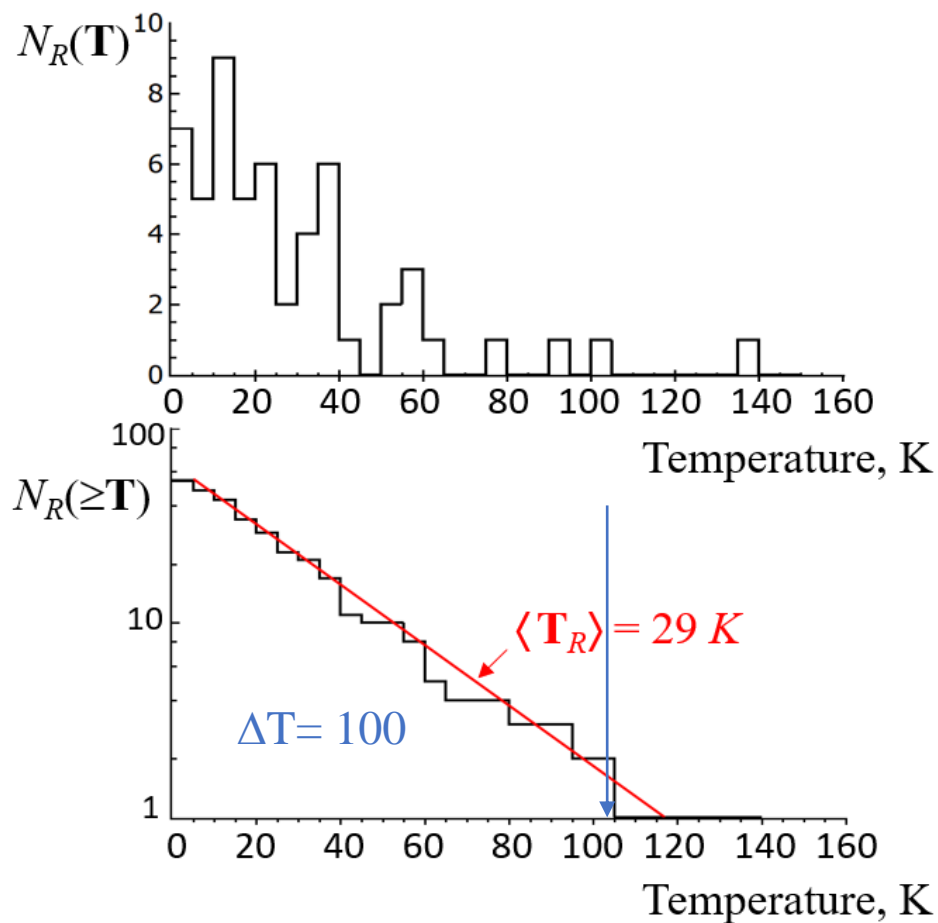
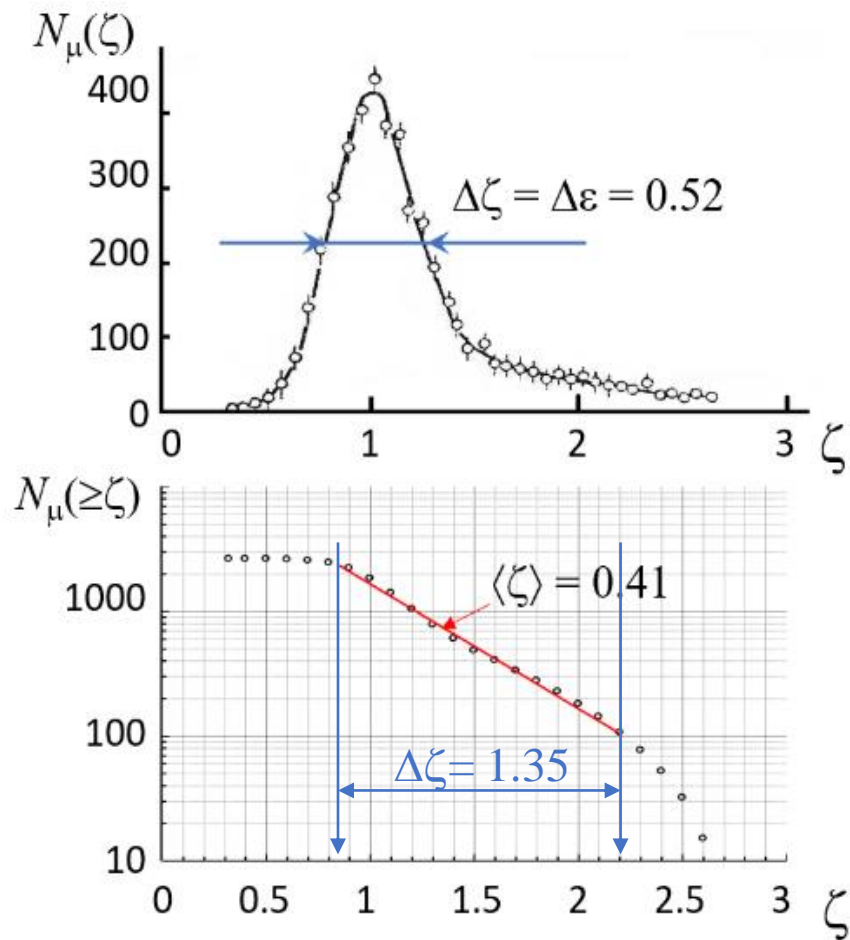


Интегральное распределение *спектра ионизационных потерь* $N_\mu(\geq\zeta)$ имеет следующие особенности:

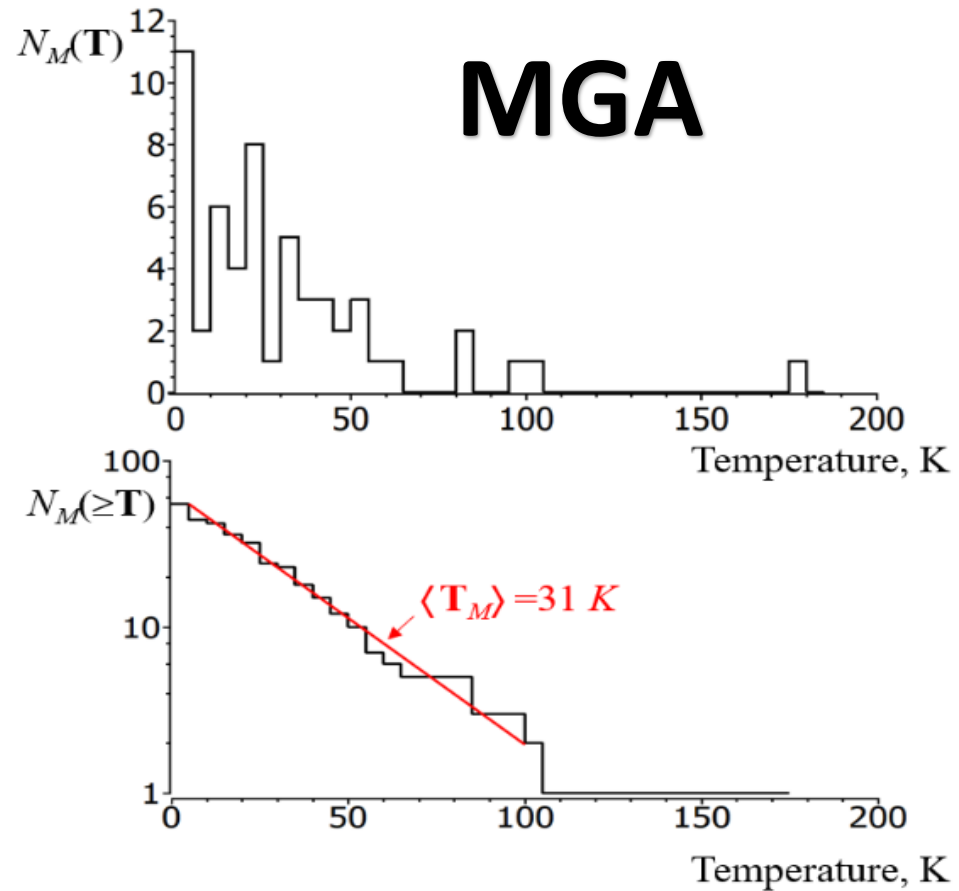
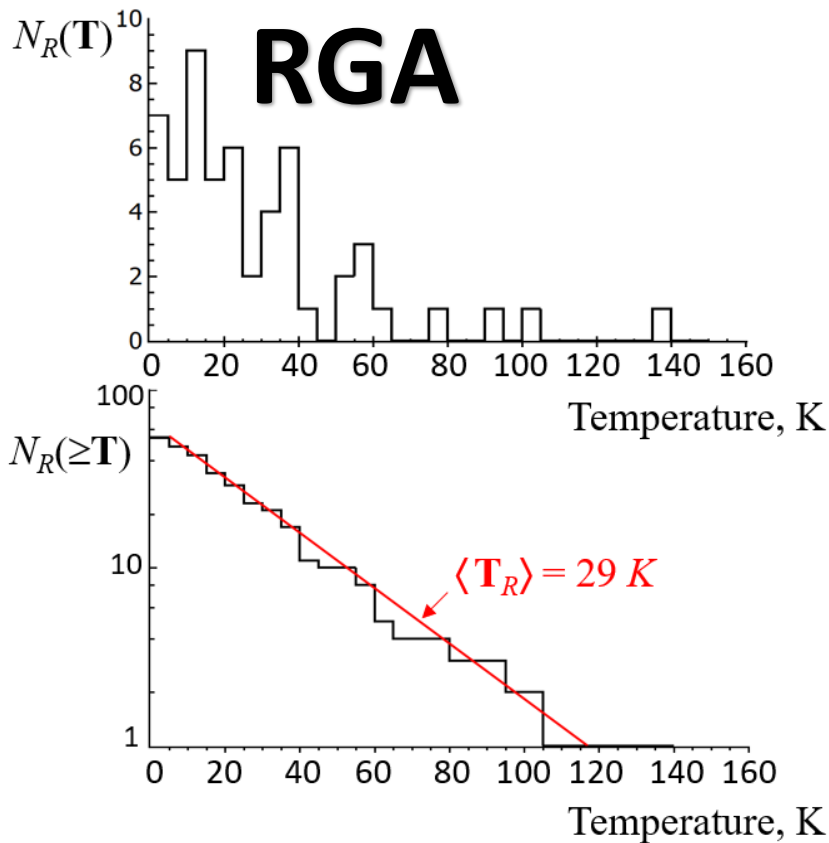
- экспоненциальный участок с показателем $\langle\zeta\rangle = 0.41$ в диапазоне $\Delta\zeta = 1.35$ от $\zeta = 0.85$ до $\zeta = 2.2$;
- в диапазоне $\Delta\zeta$ содержится основная часть ($\sim 96\%$) событий N_μ всего интервала $\zeta \geq 0.85$;
- величина отношения $\Delta\zeta/\langle\zeta\rangle$ в диапазоне $\Delta\zeta = 1.35$ падает в 3.3 раза.

Рис.9. Дифференциальный спектр ионизационных потерь мюонов $N_\mu(\zeta)$, измеренный на уровне моря, и его интегральный вид $N_\mu(\geq\zeta)$. Ось абсцисс ζ представляет отношение $\zeta = \varepsilon/\varepsilon_{pr}$, где ε_{pr} – вероятная потеря энергии; по оси ординат отложены относительные величины.

Связь событий RGA с энерговыделениями мюонов в антенне можно показать, установив **сходство распределений** $N_R(\mathbf{T})$ и $N_\mu(\zeta)$



Определим коэффициент $k = (\Delta T / \Delta \zeta) = 74$, который связывает величины $\langle \zeta \rangle$ и $\langle T_R \rangle$:
 $\langle T_R \rangle = \langle \zeta \rangle \cdot k = 0.41 \times 74 = 30 K$.



Равенство $\langle T_R \rangle = \langle T_M \rangle$ является следствием **мюонного происхождения** сигналов антенн.

1. суммарное энерговыделение большого числа мюонов, пересекающих антенну за 1с, пропорционально массе антенны независимо от ее размеров и ориентации в пространстве.
2. теплоемкость антенны также пропорциональна ее массе.

При равенстве характеристик потока мюонов (RGA и MGA находились практически на одинаковой высоте над уровнем моря) **антенны**, состоящие из одного и того же материала, **должны иметь одинаковые температурные характеристики**, связанные с энерговыделением мюонов.

Заклучение

- Проведен амплитудный анализ сигналов гравитационных антенн в Риме и Мэриленде в окрестности сигналов нейтринных детекторов во время Сверхновой SN1987A.
- Показано, что амплитудные распределения всех сигналов антенн согласуются с распределением флюктуирующей энергопотери атмосферных мюонов, пересекающих антенны.
- Сделано заключение о мюонном происхождении сигналов, детектируемых антеннами «веберовского» типа – алюминиевыми цилиндрами с массой 2 – 3 тонны.

Другой кусок пазла...

Совпадающие события, зарегистрированные всеми детекторами в шестичасовой окрестности сигнала LSD, были созданы частицами, появляющимися в распадах: события IMB, BST, RGA, MGA производились мюонами от распадов пионов и каонов; события LSD – частицами распадов радионуклидов в окружающей установку грунте и материалах детектора; события KND – частицами распадов радионуклидов (в основном – космогенных) в материалах детектора.

