

Исследование проникающего излучения под землей с помощью больших сцинтиляционных детекторов

12 ноября 2010

О.Г. Ряжская

I . Проблемы исследования нейтринного излучения:

- 1)Атмосферные нейтрино
- 2)Солнечные нейтрино
- 3)Нейтрино от коллапсирующих звезд

II . Создание подземных сцинтилляционных детекторов ИЯИ

- 1)Разработка и изготовление жидкого сцинтиллятора на основе уайт-спирита
- 2)Разработка и создание сцинтилляционных детекторов большого объема

III .Регистрация нейтринного излучения от СН 1987А

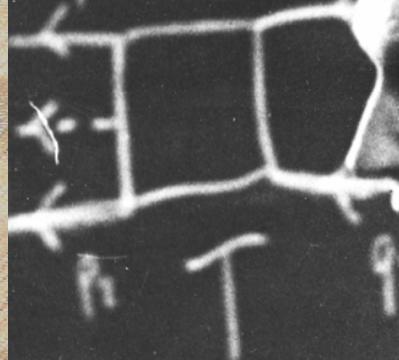
IV . Детектор LVD в LNGS

V. Исследование проникающей компоненты космических лучей.

1. Энергетические спектры мюонов,
2. Изучение глубоко неупругого взаимодействия мюонов высокой энергии
3. Генерация ядерноактивной компоненты под землёй
4. кривая глубина – интенсивность мюонов,
5. кривая глубина – интенсивность нейтронной компоненты
6. Сезонные вариации мюонов к.л. под землей с $E > 2$ ТэВ
7. μ^+/μ^- отношение
8. Мониторинг пучка из ЦЕРНа

$$H = \theta(p^0) S(p^2 - k^2)$$

Hyp. De moivre



$$\lambda \sim q_1 + q_2$$

$$S(\lambda z + p_1 + p_2 - q_0)$$

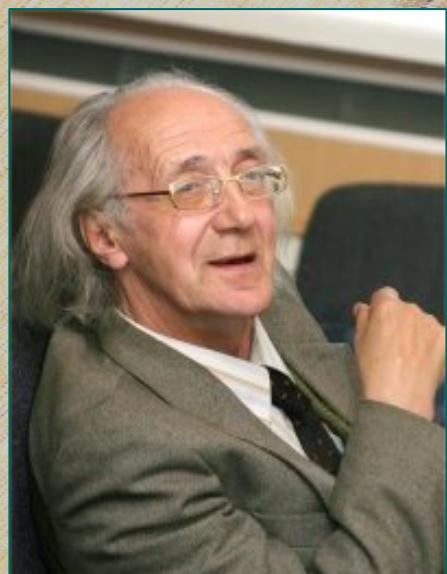
1



- “On high energy neutrino physics in cosmic rays”
M.A. Markov and I.M. Zheleznykh, *Nuclear Physics* 27 (1961) 385
- “Energy spectra and angular distributions of the atmospheric neutrinos”
G.T. Zatsepin and V.A. Kuzmin, *JETP* 41, 1818 (1961)

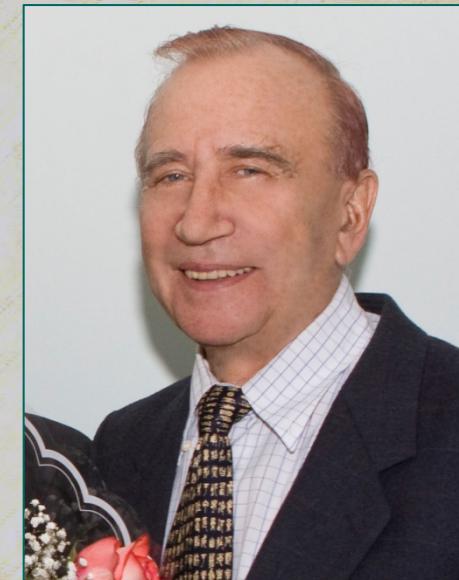
After these two works

possibilities of underground neutrino experiments were considered more carefully in V.A. Kuzmin, M.A. Markov, G.T. Zatsepin and I.M. Zheleznykh,
J. Phys. Soc. Jap. 17, Suppl. A-III, 353 (1962).



И.М. Железных, Г.Т. Зацепин, В.А.
Кузьмин, М.А. Марков.
**К нейтринной физике высоких
энергий в космических лучах.**

Известия АН СССР, серия физ.,
(1962).



- «Экспериментальная установка может быть устроена так.

Регистрация мю-мезонов производится в трех рядах сцинтилляторов, расположенных один под другим на расстояниях, достаточных для разделения импульсов во времени и включенных на запаздывающие совпадения.

Между рядами сцинтилляторов располагается поглотитель с тем, чтобы регистрировались мю-мезоны с энергией выше пороговой. Варьирование порога, а также анализ углового распределения регистрируемых мю-мезонов позволяет получить сведения, крайне важные для выбора между имеющимися теоретическими возможностями.

Добавление к трем рядам сцинтилляторов четвертого позволит вести регистрацию одновременно при двух порогах. Имитация исследуемых событий может производиться мю-мезонами космических лучей. Этот эффект быстро падает с погружением под землю и увеличением пороговой энергии регистрации мю-мезонов. Поэтому всегда можно обеспечить достаточно чистые условия эксперимента.»



M. Markov

B. Pontecorvo

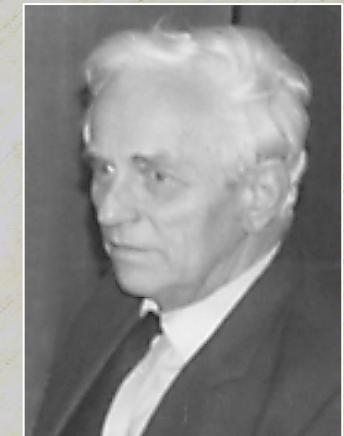
1963 – decision for constructing underground neutrino laboratory to study solar neutrino, atmospheric neutrino and ... at Baksan valley. Creation of the neutrino laboratory (FIAN, from 1971 INR AS of the USSR)



A. Pomansky

A. Tavkhelidze

G. Zatsepin



A. Chudakov

1963

Создание лаборатории нейтрино

Группа
солнечных
нейтрино
Поманский
А.А.

Группа
проникающей
компоненты КЛ
Зацепин Г.Т.

Группа
атмосферных
нейтрино
Чудаков А.Е.

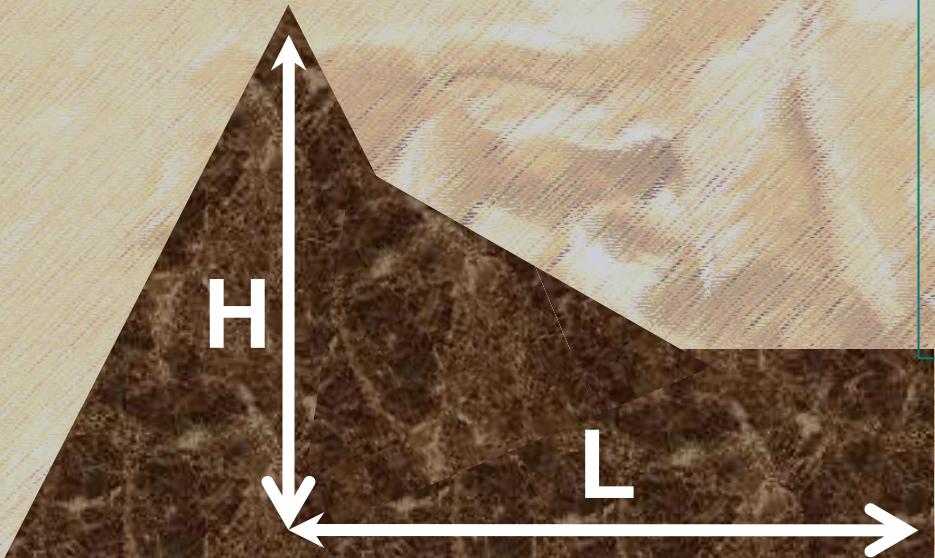
Эксперименты по поиску редких процессов
осуществляются глубоко под землей,
т.к. требуют минимального фона.



«Для понимания вопросов
фонов необходимо хорошо
знать физику космических
лучей»

Г.Т. Зацепин

Стоял вопрос о создании первой в мире подземной лаборатории:



Основные требования:

$H - \max$

$L - \min$

Февраль 1964 г. – По картам было найдено 2 места:

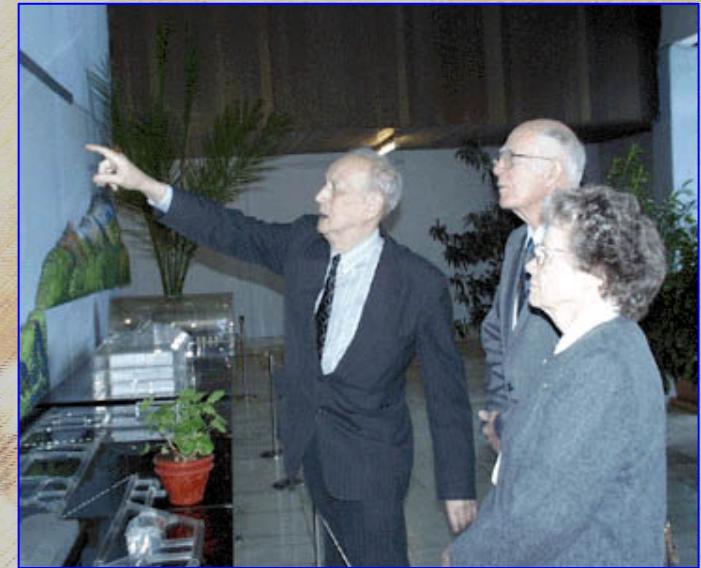
1 – вблизи Тырныауза

2 – в Баксанском ущелье

ФОН ДЛЯ СОЛНЕЧНЫХ НЕЙТРИНО



Статистика ν событий на 1 атом мишени в 1 сек.
 $\sim 10^{-34} - 10^{-37}$ (ppc)



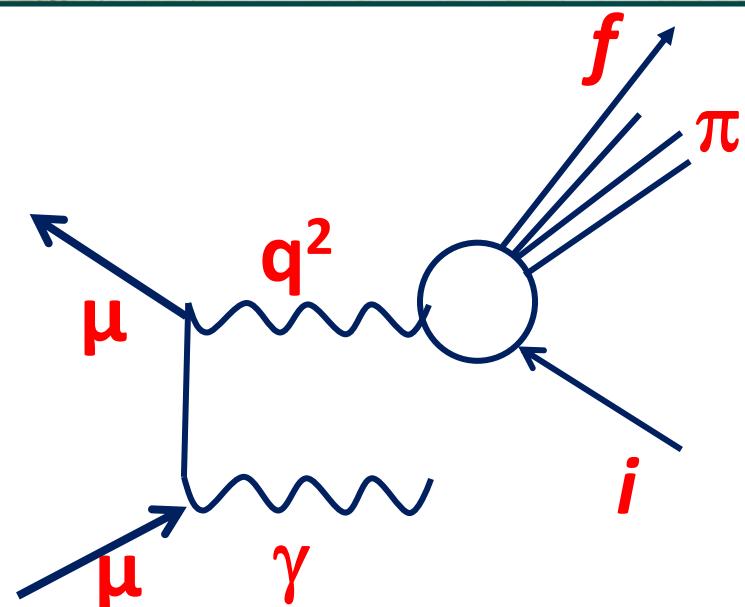
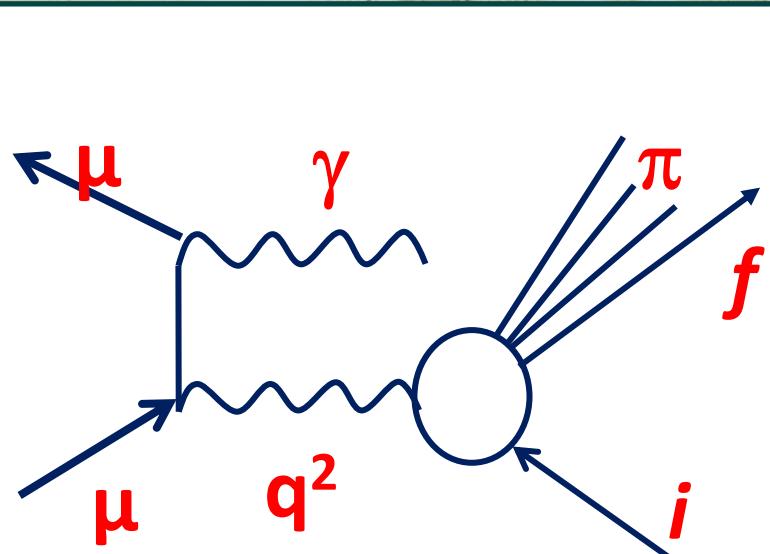
Вопросы фона играют важную роль

Ядерно-активная компонента космических лучей



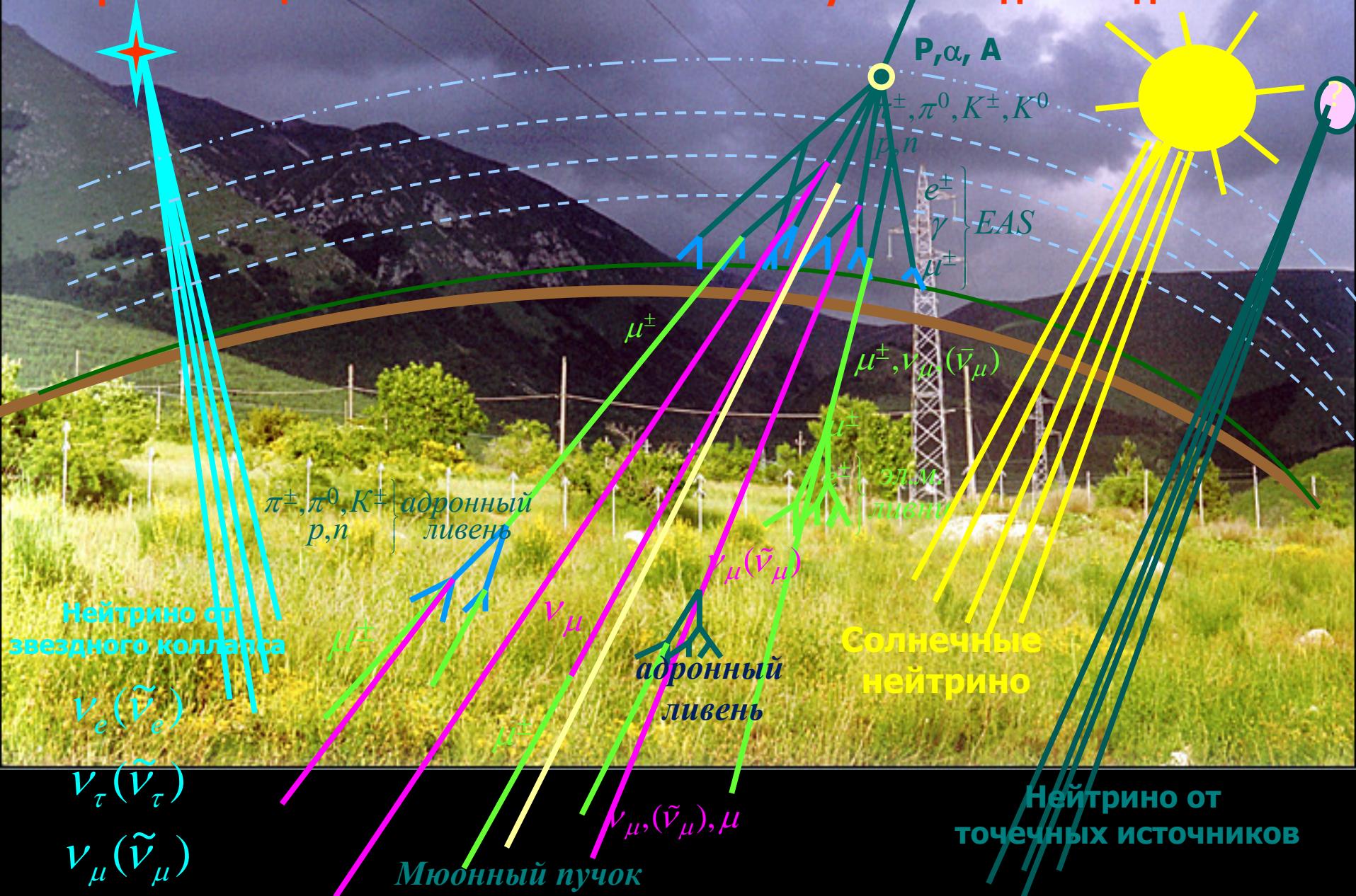
До 1964 считалось, что основной процесс генерации ядерно-активной компоненты – электромагнитные каскады.

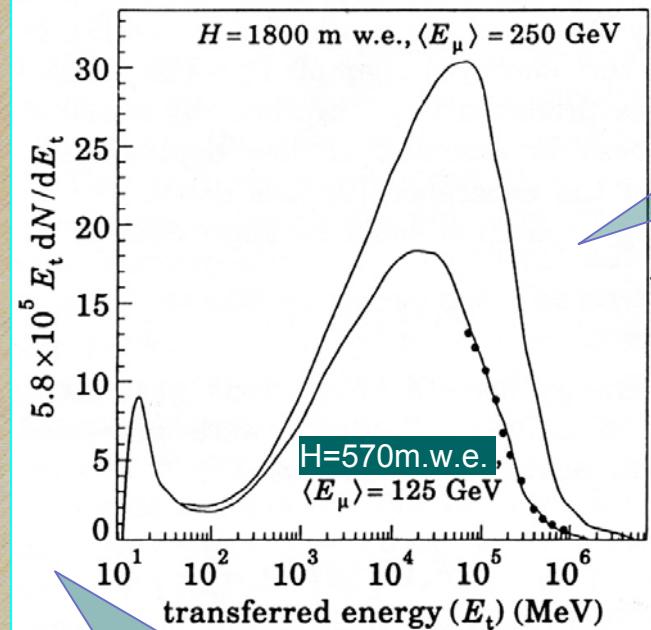
Г.Т. предложил рассмотреть генерацию ядерных каскадов за счет глубоко-неупругого взаимодействия мюонов.



Что такое ядерно-каскадный процесс?

Проникающая компонента космических лучей попадает под землю

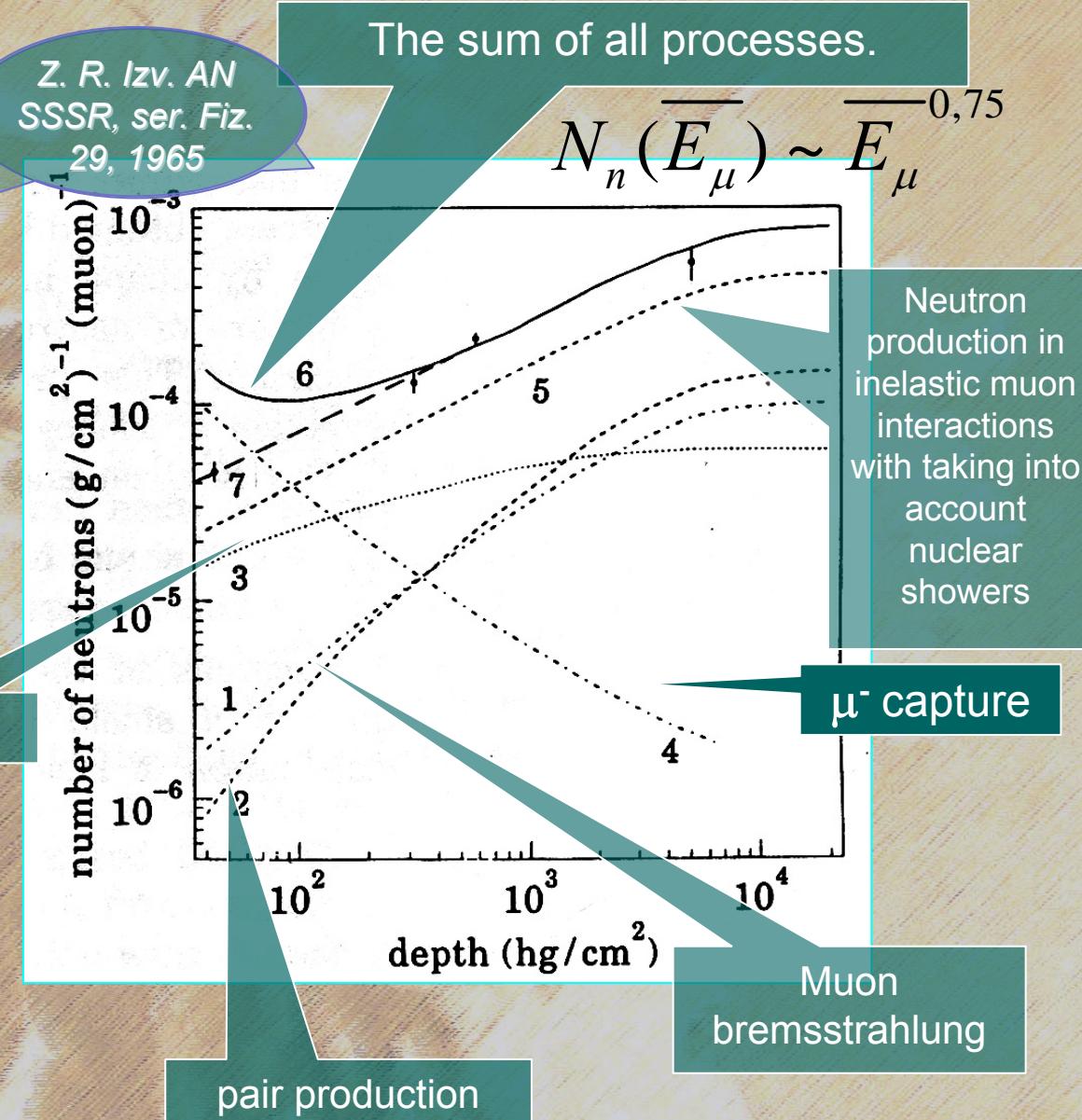




Kh. M. R. R.
JETP Lett., 36,
1982

δ -electrons

Dependence of the contribution of neutrons, produced in inelastic muon interactions, on the energy transfer in the interaction E_t



The number of generated neutrons per 1 muon per 1 g/cm^2 vs the depth from the top of the atmosphere.

Neutrino from the Collapsing stars

Эволюция массивных звезд



Гравитационный коллапс
Вспышка сверхновой



Нейтринное излучение

- Гамов, Шоенберг - 1941
- Зельдович, Гусейнов - 1965
- Домогацкий, Зацепин - 1965

**Название SN
возникло из
наблюдательных
астрономических
данных и касается
практически
мгновенного
появления на небе
очень яркой
звезды,
светимость
которой в десятки
миллиардов раз
больше светимости
Солнца.**



Стационарное состояние:

Силы

компенсируют **гравитационные** силы.

Температура горячего газа

поддерживается ядерным излучением.

В ~~этапе~~ эволюции звезда состоит, в основном, из водорода. Со временем, благодаря ядерным реакциям синтеза



выделяется энергия, которая удерживает звезду в состоянии равновесия. После образования ядер железа дальнейшая эволюция требует затрат энергии.

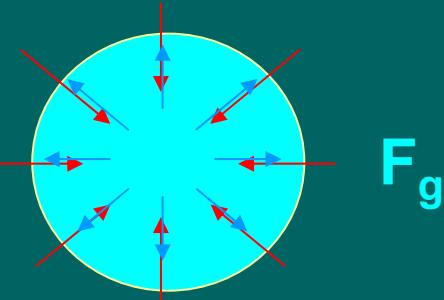
В центре звезды происходит формирование Fe - ядра.

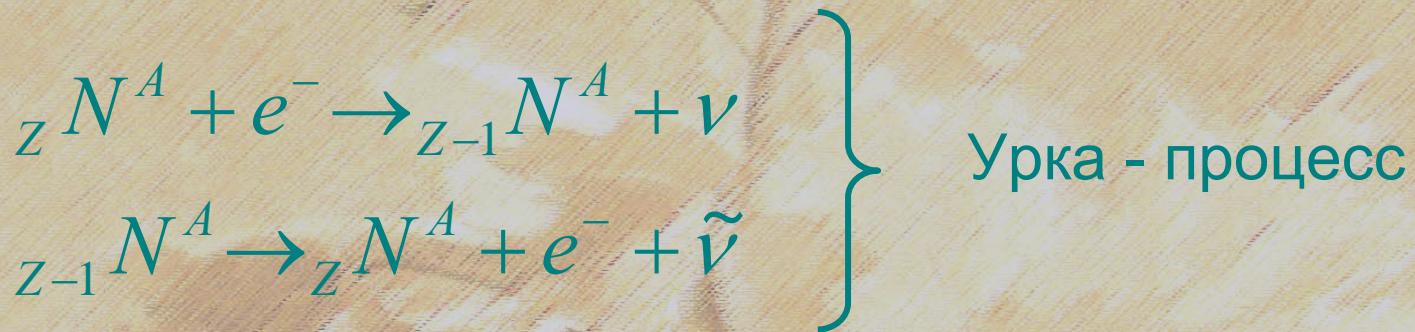
$\langle F_g \rangle$. Звезда начинает сжиматься, **коллапсировать**. Под действием гравитационных сил ядра железа разрушаются, и электроны практически вдавливаются в атомные ядра. При этом излучаются электронные нейтрино.

Полная энергия

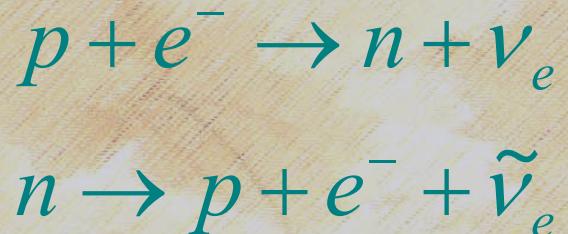
$$\varepsilon_\nu \approx 10\% M_{zv} c^2$$

10 % энергии покоя звезды





Эта идея родилась в Рио де Жанейро в казино «УРКА», где большое количество денег мгновенно испарялось.



*«Мы разработали общие идеи относительно роли нейтринного излучения в **звездных катастрофах**, известных в астрономии, в то время как **нейтрино** до сих пор рассматриваются как **чисто гипотетические частицы** в связи с тем, что все усилия по их регистрации терпели неудачу.»*

Г. Гамов, М. Шоэнберг

Детектирование нейтрино от коллапсирующей звезды дает возможность:

- Зарегистрировать гравитационный коллапс, даже если он является «тихим» (не сопровождается вспышкой Сверхновой);
- Изучить динамику коллапса;
- Оценить температуру в центре звезды.

Параметры нейтринных потоков при коллапсе немагнитных, невращающихся, сферически симметричных звезд

(стандартная модель):

Модель	Полная энергия 10^{53} эрг	Энергия уносимая $\tilde{\nu}_e 10^{53}$ эрг	Энергия уносимая $\nu_e 10^{53}$ эрг	Средняя энергия $\tilde{\nu}_e$ МэВ	Средняя энергия ν_e МэВ	$E(\nu_e)$ МэВ	Длительн ость всплеска
Модель I				12.6	10.5	-	~20
Модель II	3-14	0.5-2.3	0.1	10	8	25	5

Из теории «стандартного» коллапса следует, что суммарная энергия, уносимая нейтрино всех типов: $\nu_e, \tilde{\nu}_e, \nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu, \nu_\tau, \tilde{\nu}_\tau$ соответствует ~ 0.1 массы ядра звезды и делится поровну между этими шестью компонентами.

General idea

How can one detect the neutrino flux from collapsing stars?

Until now, **Cherenkov (H_2O)** and **scintillation (C_nH_{2n})** detectors which are capable of detecting mainly $\tilde{\nu}_e$, have been used in searching for neutrino radiation, This choice is natural and connected with large $\tilde{\nu}_e$ -p cross-section



$$\sigma_{\tilde{\nu}_e p} \sim 9.3 E_{e^+}^2 \cdot 10^{-44} \text{ cm}^2 \quad E_{e^+} >> 0.5 \text{ MeV}$$

As was shown at the first time by G.T.Zatsepin, O.G.Ryazhskaya, A.E.Chudakov (1973), the proton can be used for a neutron capture with the following production of deuterium (d) with γ - quantum emission with $\tau \sim 180 - 200 \mu s$.



The specific signature of event

1965 – elaboration of new liquid scintillator: transparency
L~50m, stability >40 years,
the price 30 kop/L (<30cent/L.)



A. Voevodskiy V. Dadykin O. Ryazhskaya

1965-80 – Construction of scintillation detectors and study of deep inelastic muon interaction and generation of nuclear active component of c.r. underground

- study of cosmic ray background

1979 - first detection of up-going atmospheric neutrino in Baksan.

1979-80 – the beginning of search for neutrino from collapsing stars in Arteomovsk and Baksan. 3 detectors used the liquid scintillator.

Зависимость ОСВ от концентрации РРО.

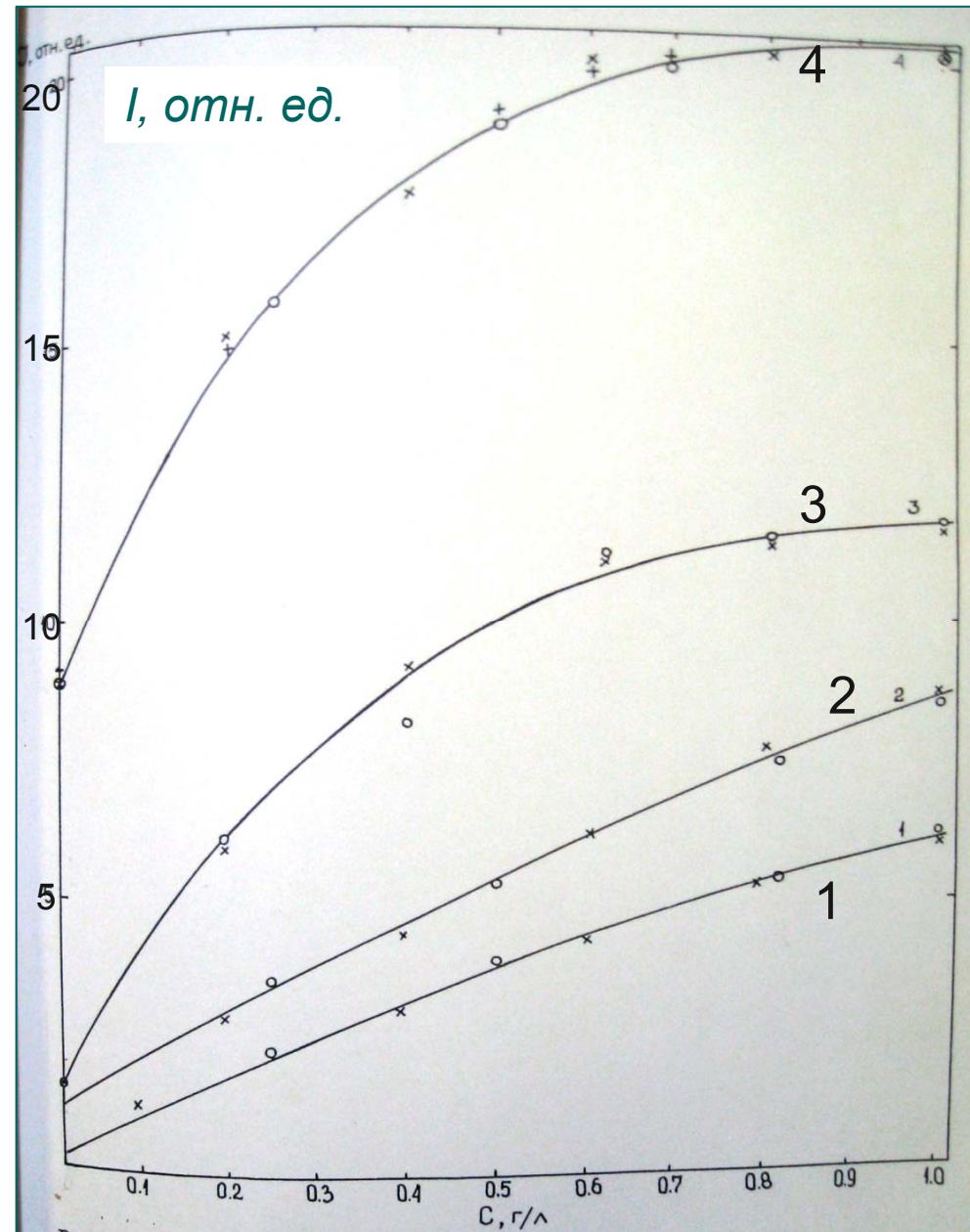
1 – POPOP и аргон отсутствуют;

2 – 0.03 г/л POPOP'a, аргон отсутствует;

3 – POPOP отсутствует, насыщение аргоном;

4 – 0.03 г/л POPOP' a, насыщение аргоном

Счетчики $V=0.15\text{m}^3$,
 $V=2\text{m}^3$,
 $V=130\text{m}^3$



During last 40 years the following underground detectors were constructed by the Institute for Nuclear Research of the USSR:

1. АСД (Collapse) : INR RAS, Arteomovsk, 105 t of liquid scintillator, 1977

2. BUST (INR RAS), 1978

3. LSD (INR RAS together with Institute of Cosmo Geophysics of CNR) Mt. Blanc, 90 t of scintillator and 200 t of iron, 1984

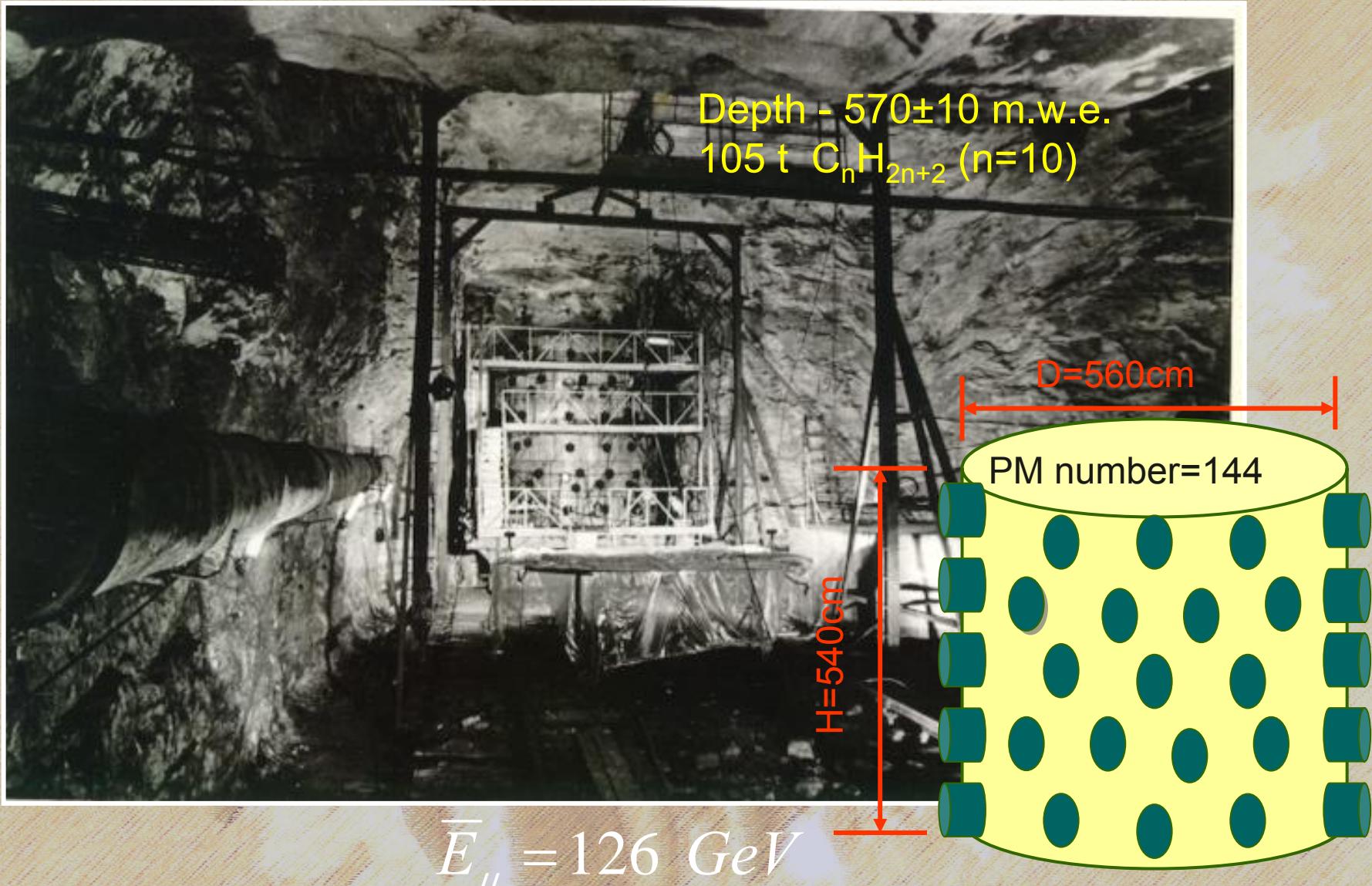
4. LVD (INR RAS and LNGS INFN, Gran Sasso) ,
0,35 kt scintillator and 0,33kt iron , 1992

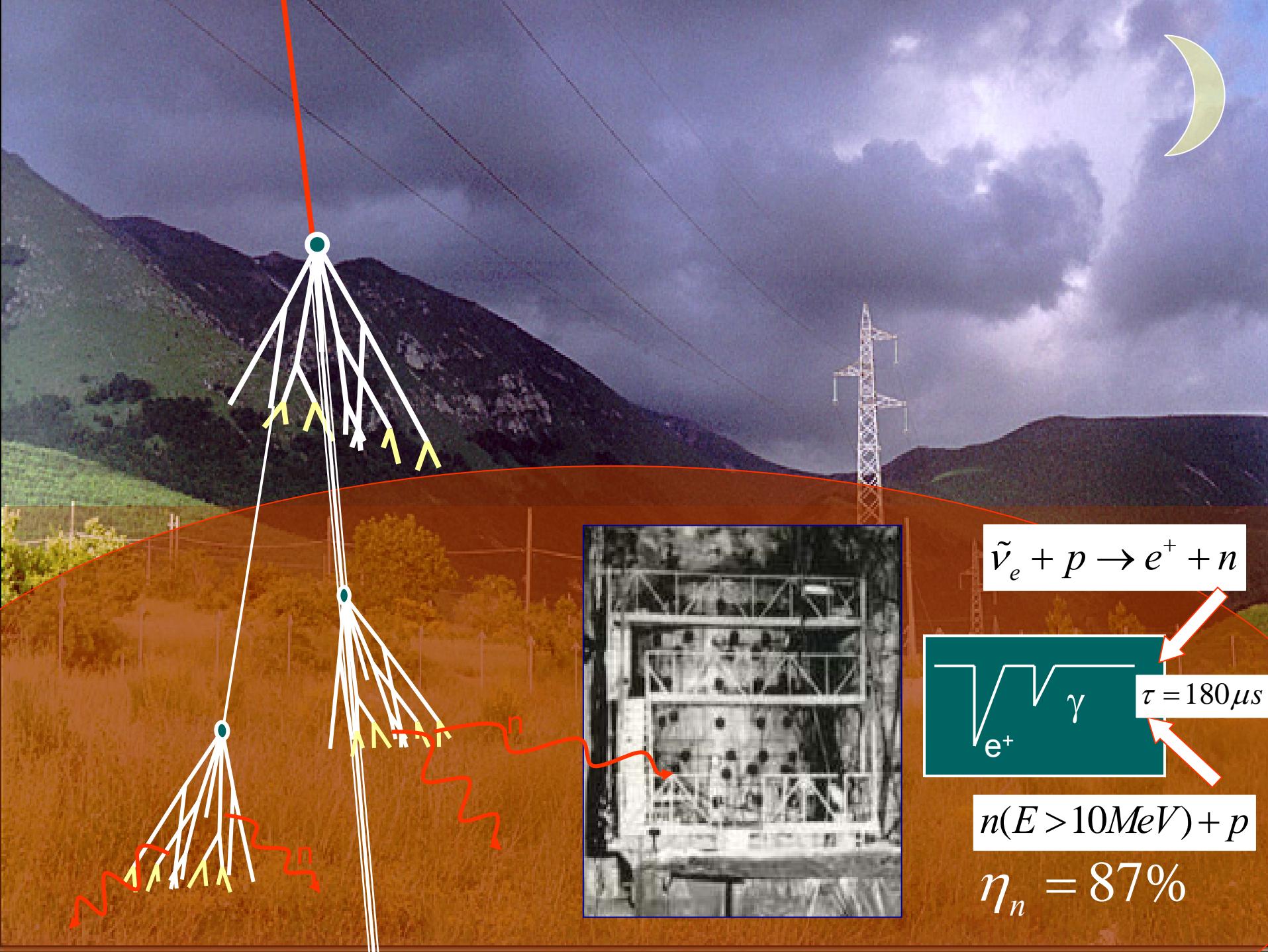
last version (1 kt of scintillator and 1 kt of iron), 2001

One of main goals of the experiment is the search for neutrino burst from collapsing stars.

These detectors also are used for different studies in the field of underground physics. The possibility of a simultaneous detection of a neutrino burst by several detectors located in different places on the Earth strongly reduces noise and increases the reliability of results.

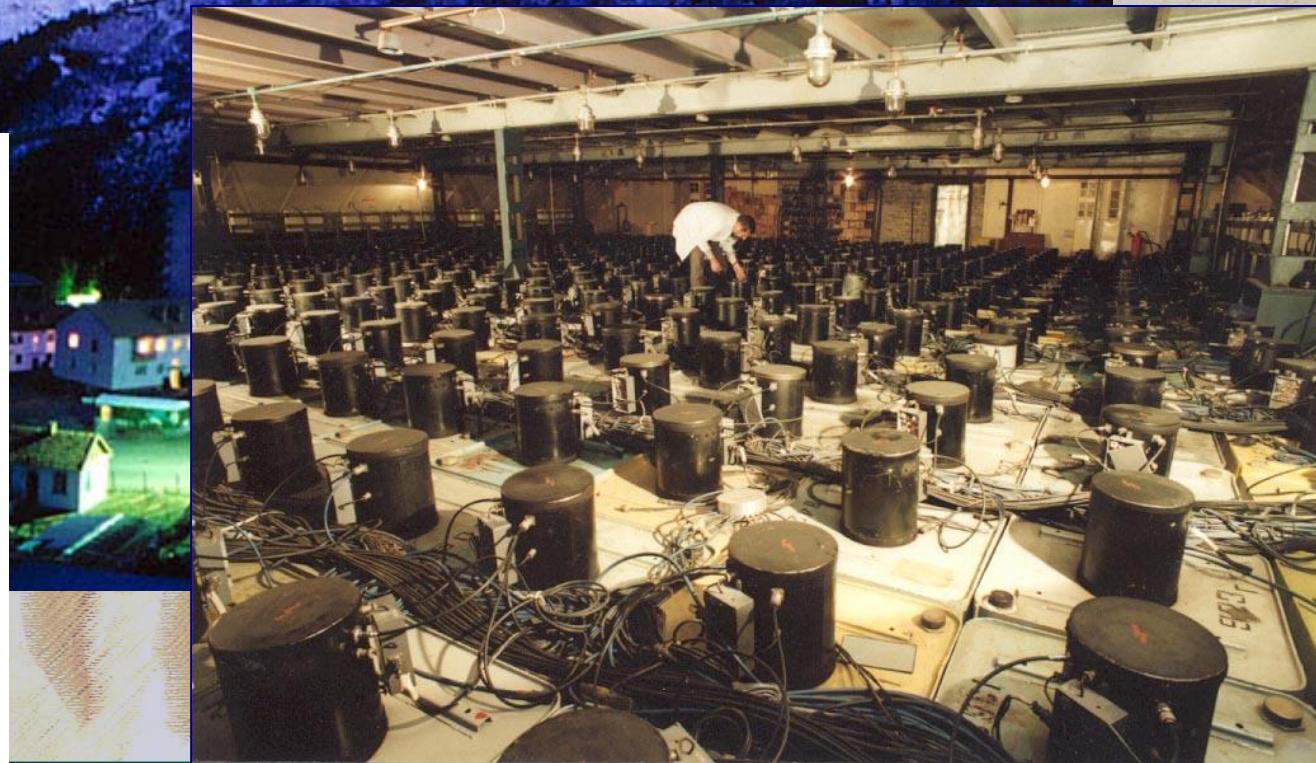
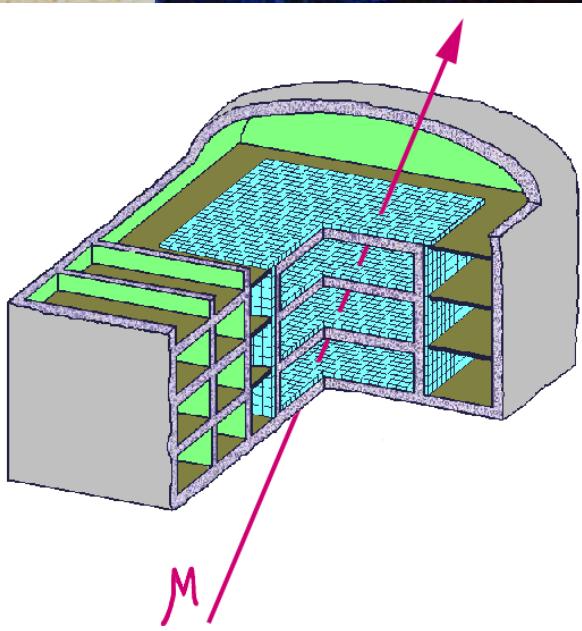
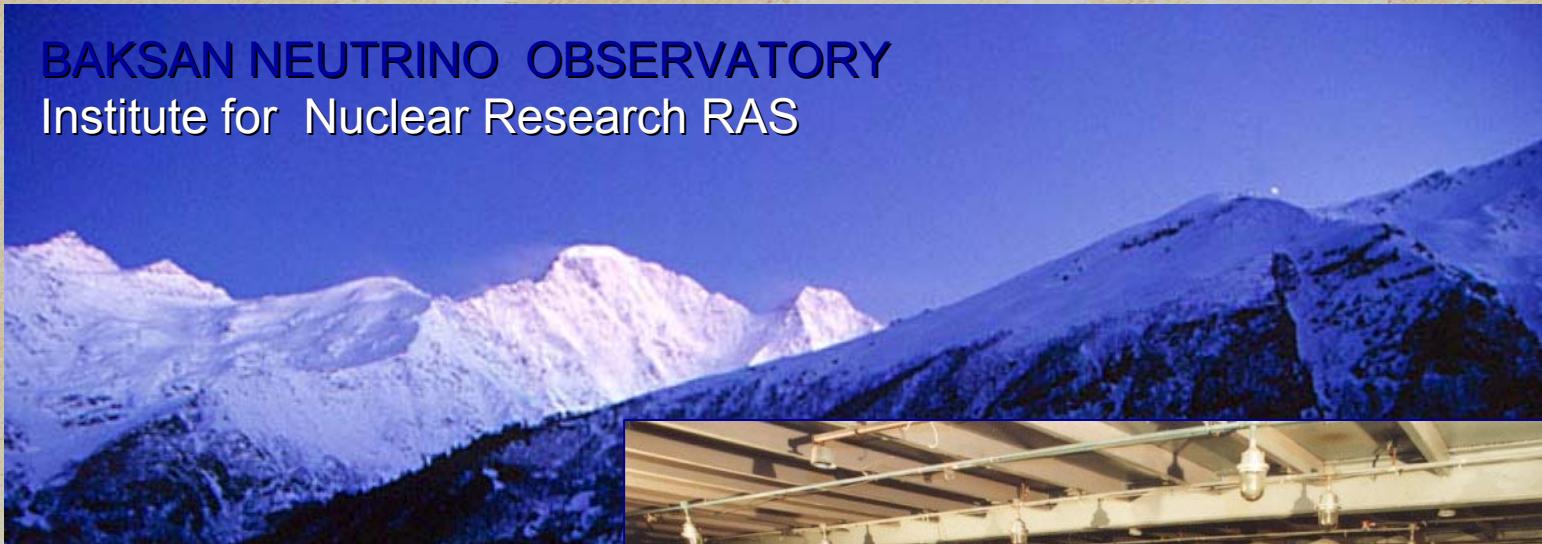
ARTEOMOVSK





BAKSAN

BAKSAN NEUTRINO OBSERVATORY
Institute for Nuclear Research RAS

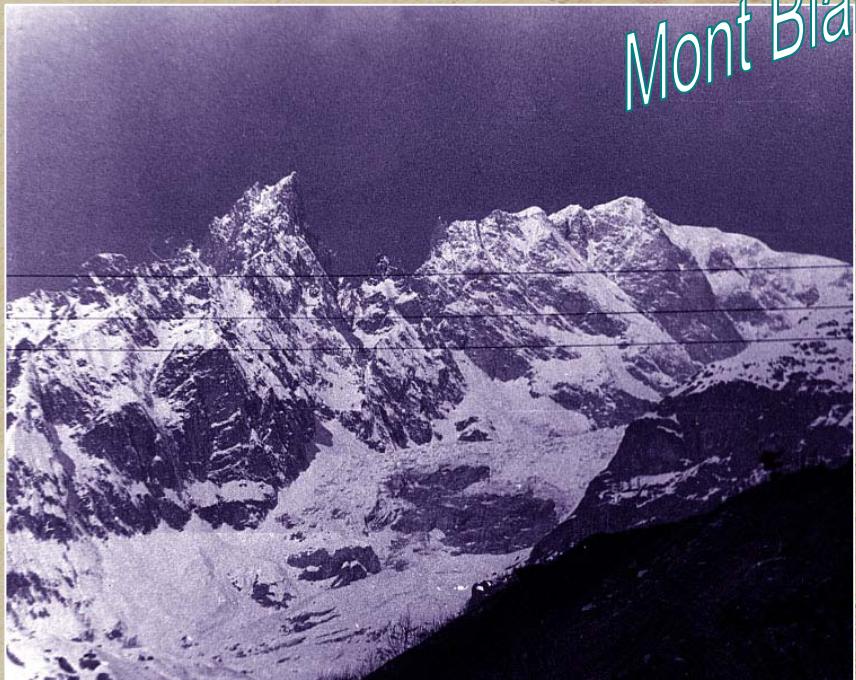


- *Discussion about underground physics, 1969*



- *Discussion about Russian-Italian collaboration, 1977*

Mont Blanc



детекторы разгружены

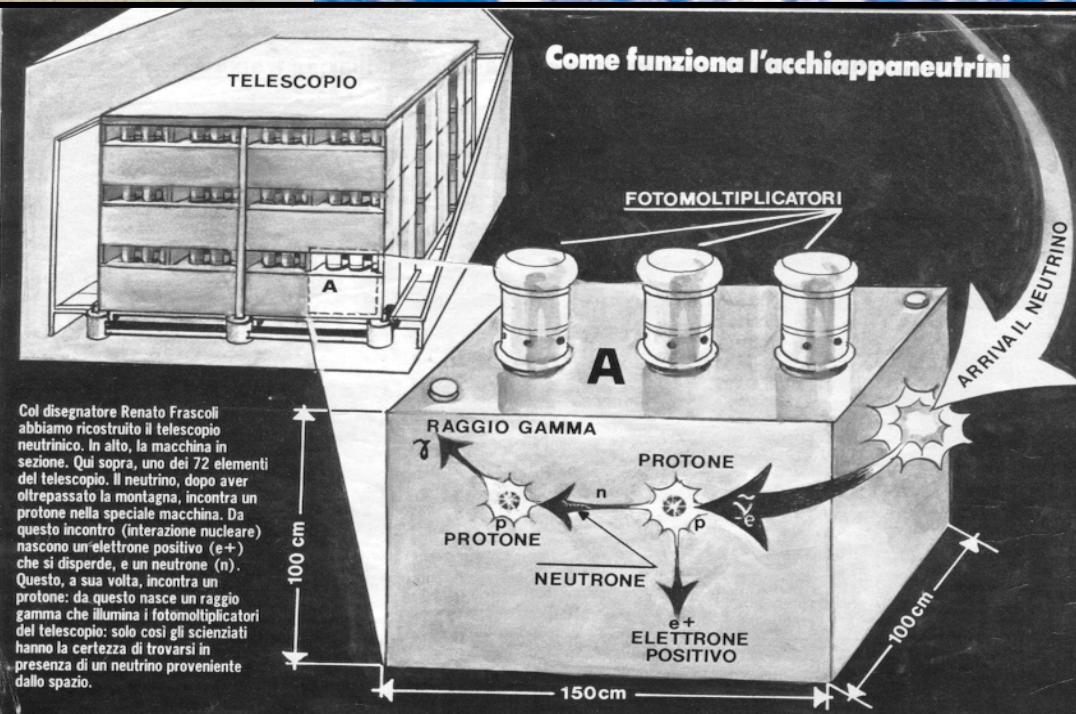
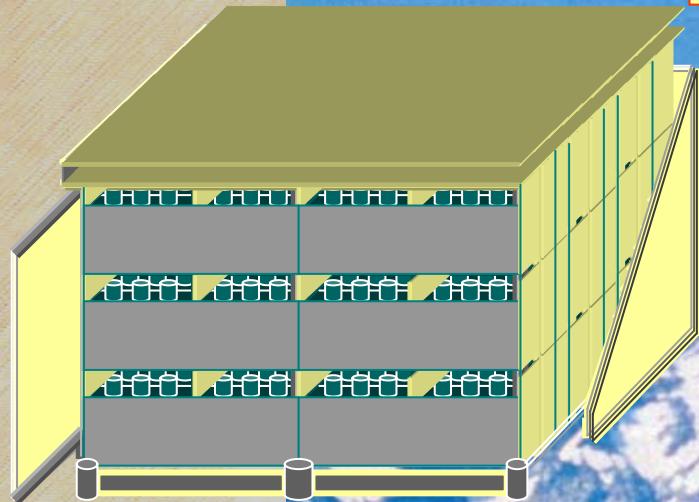


**1985 - Официальный
запуск LSD:**

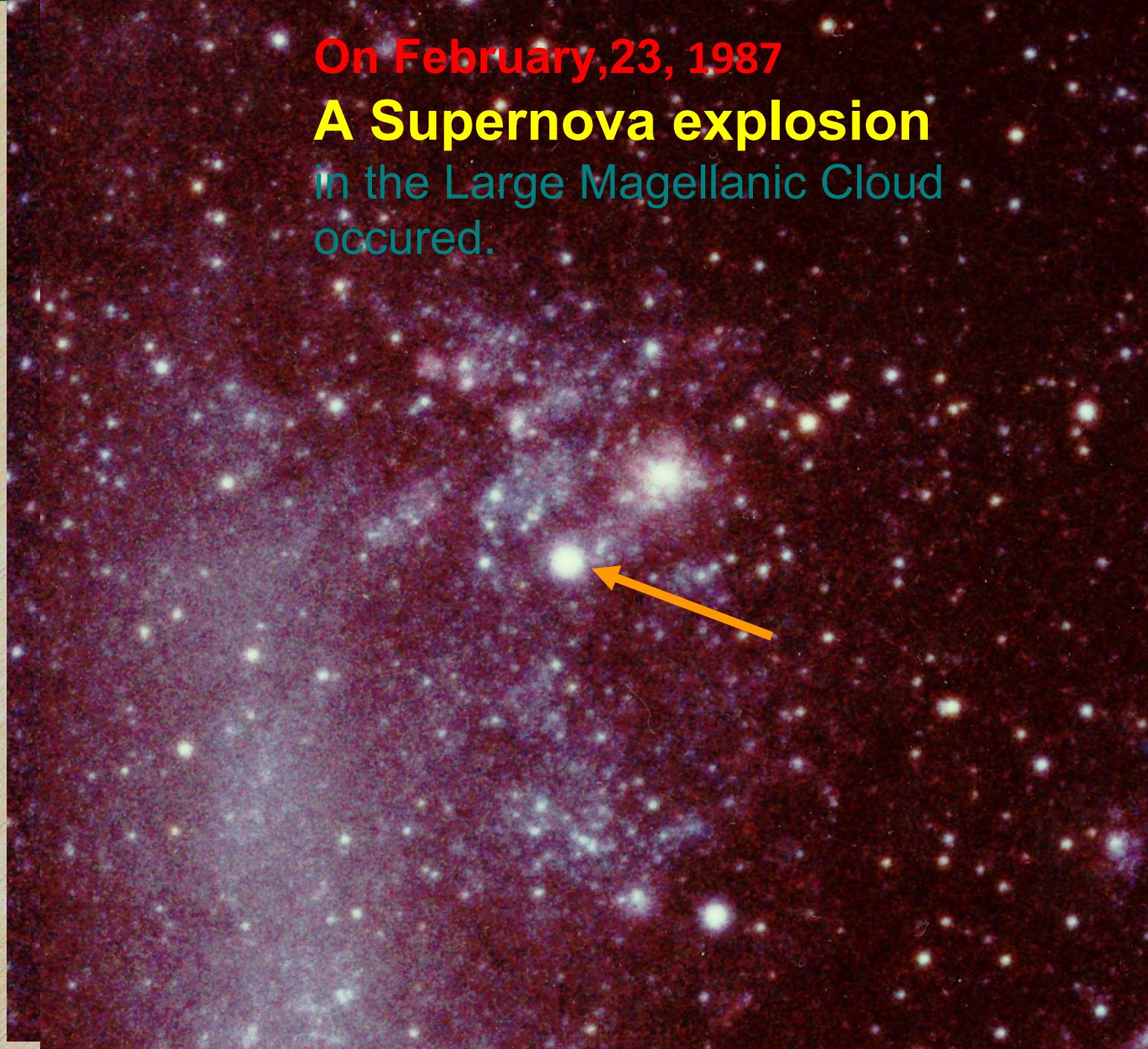


**Новое направление
физики космических
лучей – Подземная
физика**

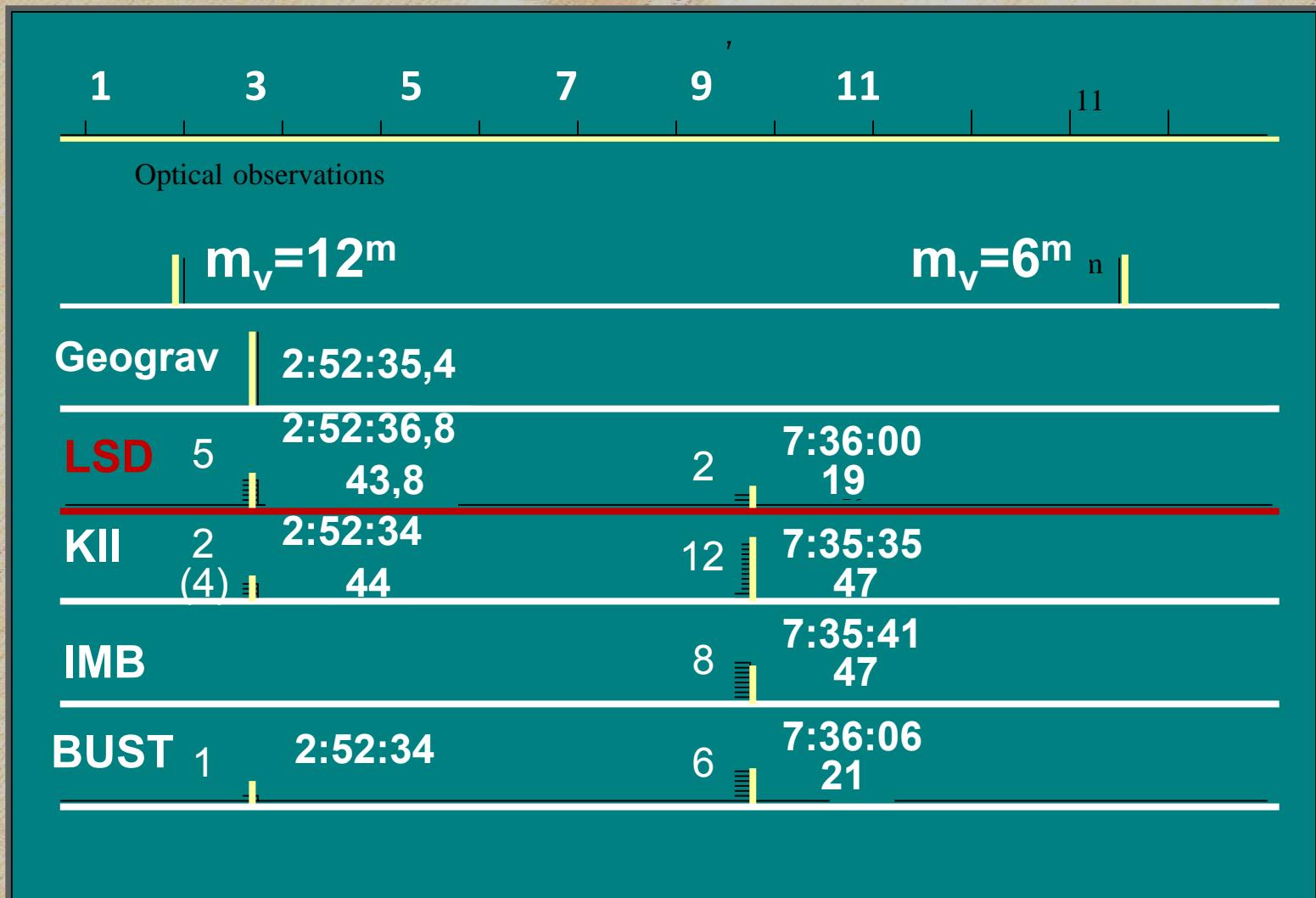
LSD, Monte Bianco



**On February, 23, 1987
A Supernova explosion
in the Large Magellanic Cloud
occurred.**



February 23, 1987



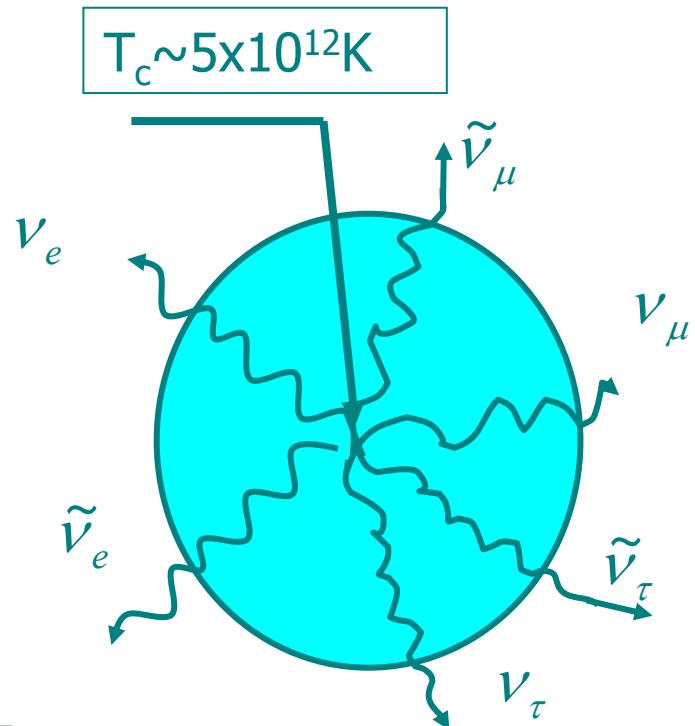
The results are not explained in the frame of the standard collapse model, but can be naturally explained by rotating collapsar model (*V.Imshennik,O. Ryazhskaya, Astron. Lett. 30, 14 (2004)*) which predicts two-stage collapse. **LSD**

detected neutrino from the stage of neutronization of the star due to the presence of the iron in LSD. The first stage was ~ 5 hours early then second one.

Эффекты вращения дают возможность:

1. Решить проблему трансформации коллапса во взрыв для массивных и коллапсирующих сверхновых (все типы SN, кроме Ia - термоядерных SN)
2. Решить проблему двух нейтриноных сигналов от SN1987A, разделенных временным интервалом 4,7 ч.

Разница выхода нейтрино в модели стандартного коллапса и в модели вращающегося коллапсара

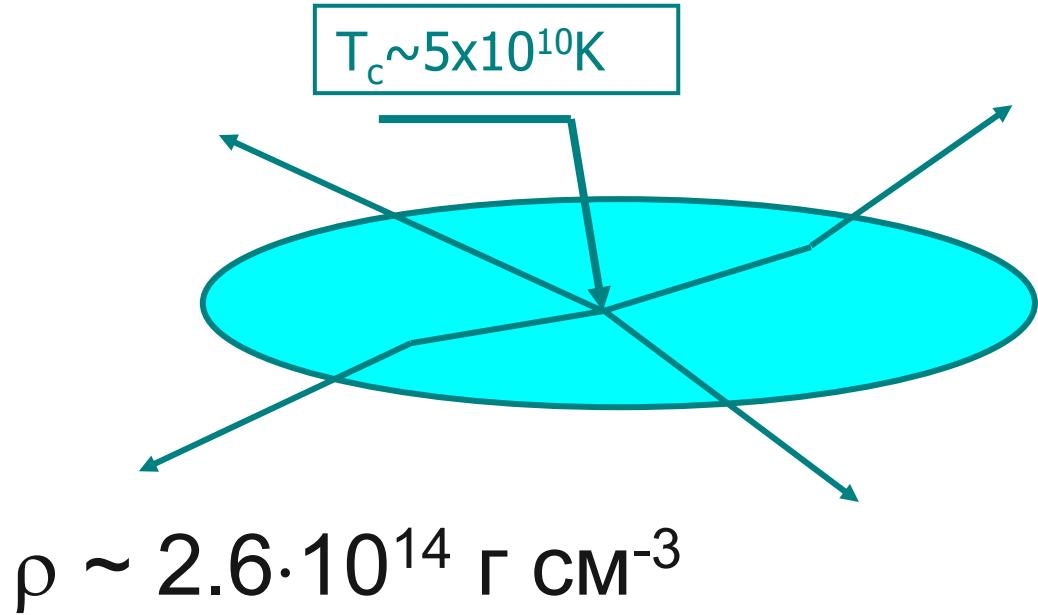


$$\bar{E}_{\tilde{\nu}_e} = 12 MeV$$

$$\bar{E}_{\nu_e} = 10 MeV$$

$$\bar{E}_{\nu_\mu, \tilde{\nu}_\mu, \nu_\tau, \tilde{\nu}_\tau} = (20 - 25) MeV$$

$$\mathcal{E}_{\nu, \tilde{\nu}} = 5.3 \cdot 10^{53} \text{ эрг}$$



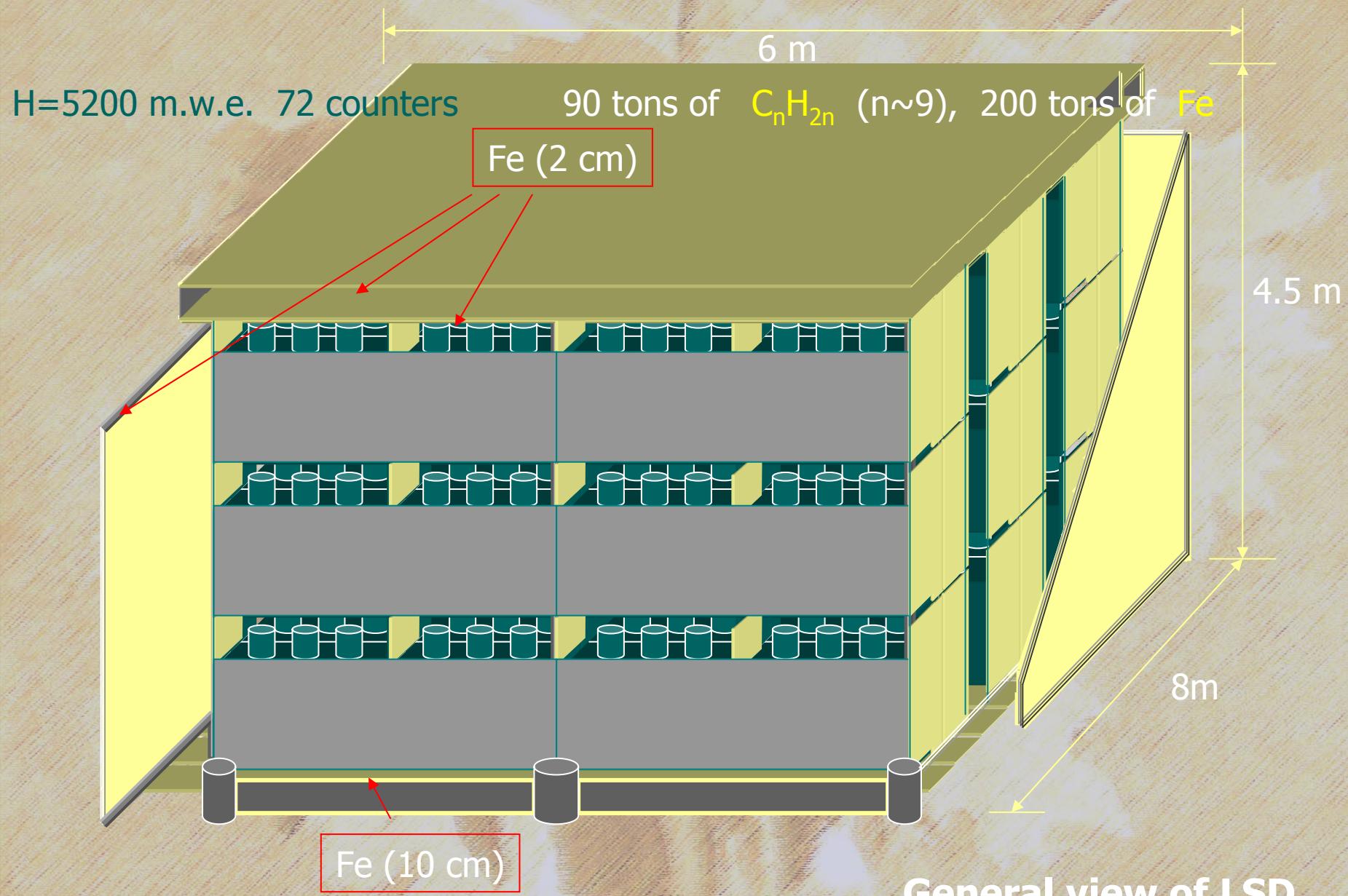
Основная реакция - УРКА-процесс:

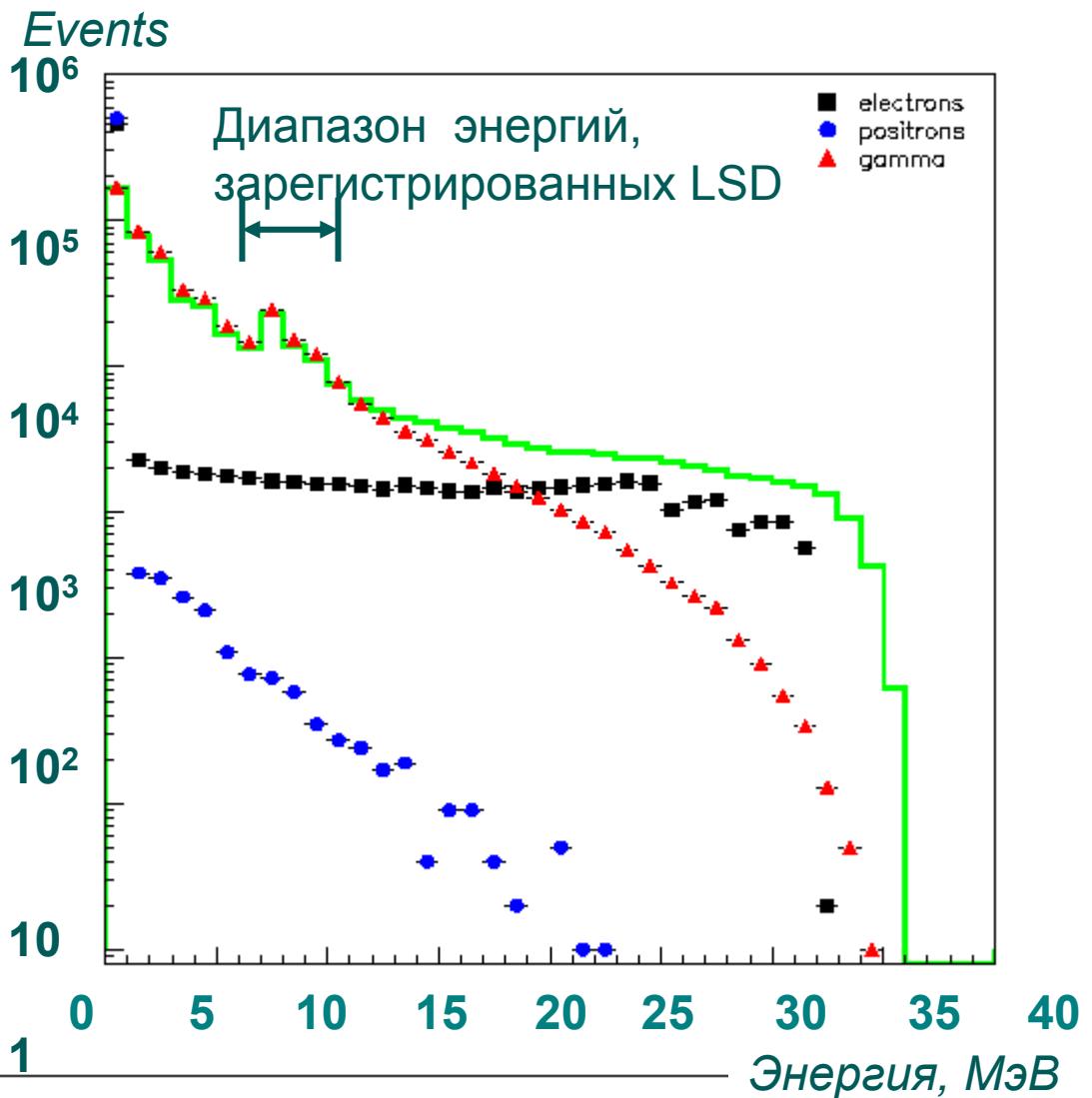


$$\bar{E}_\nu = (30 - 50) MeV$$

$$\mathcal{E}_{\nu_e, \tilde{\nu}_e} \approx \mathcal{E}_{\nu_e} = 8.9 \cdot 10^{52} \text{ эрг}$$

Liquid Scintillator Detector (LSD)





Энергетический спектр частиц, выходящих из железной пластиинки толщиной 2,8 см

(расчет выполнен с использованием Geant4; гистограмма – общее энерговыделение)

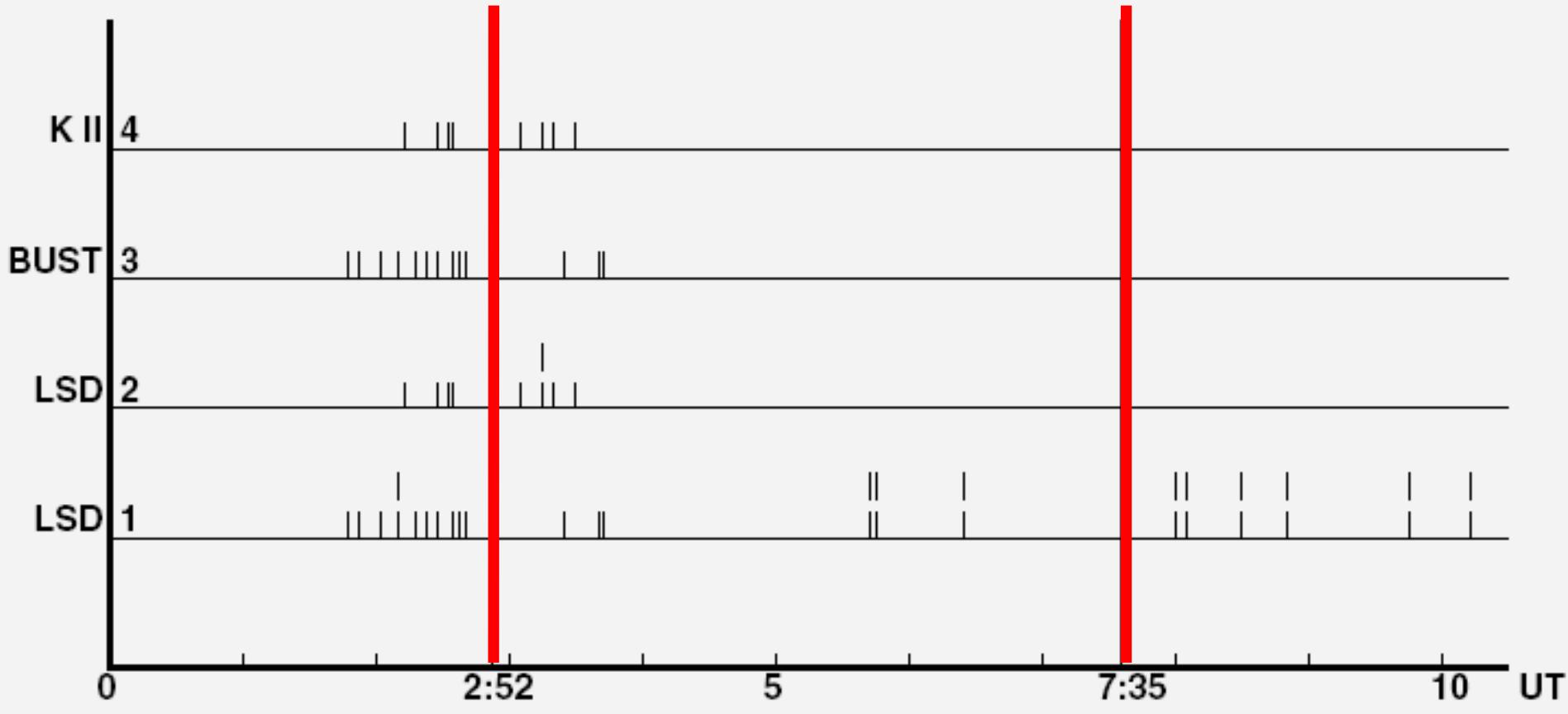
2:52 UT results and 7:35 UT results correspond to a certain extent to the model of standard collapse (7:35 UT)

Review by Imshennik V.S., Nadyozhin D.K. // Inter. J. Mod. Phys. A **20**, 6597 (2005),

the model of rotating collapsar (2:52 UT; 7:35 UT)

Imshennik V.S., Space Sci Rev, **74**, 325-334 (1995); Astronomy Lett., **34**, 375 (2008); Imshennik V.S., Ryazhskaya O.G. // Astronomy Lett., **30**, 14 (2004)

However, a number of questions still remains!



Timing diagram of the BUST pulses coincident with the LSD pulses within 1 s and similar coincidences for the K2 and LSD detectors as well as double pulses in LSD over the period from 0:00 to 10:00 UT on February 23, 1987.

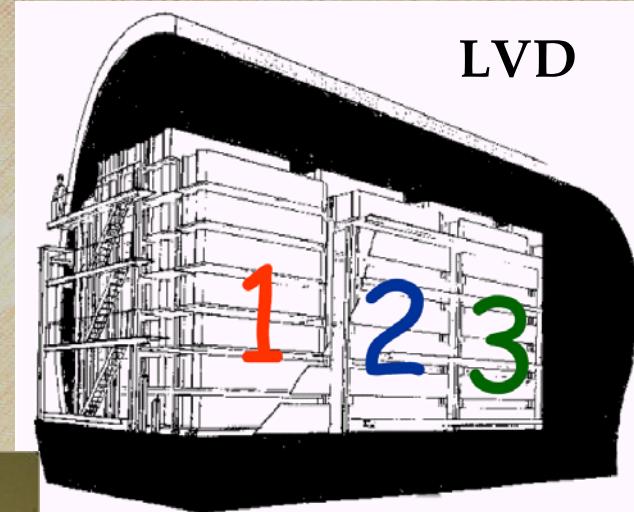
$$\begin{aligned}
 N_c (\text{LSD-K2}) &= 8; N_{c.\text{by chance}} = 2 \\
 N_c (\text{LSD-BUST}) &= 13; N_{c.\text{by chance}} = 3 \\
 N_{\text{pairs by chance}} &= 1,2
 \end{aligned}$$

Coincidence by chance
with SN 1/3000 years

LVD – detector under Gran Sasso (LNGS) @ 3300 m.w.e.

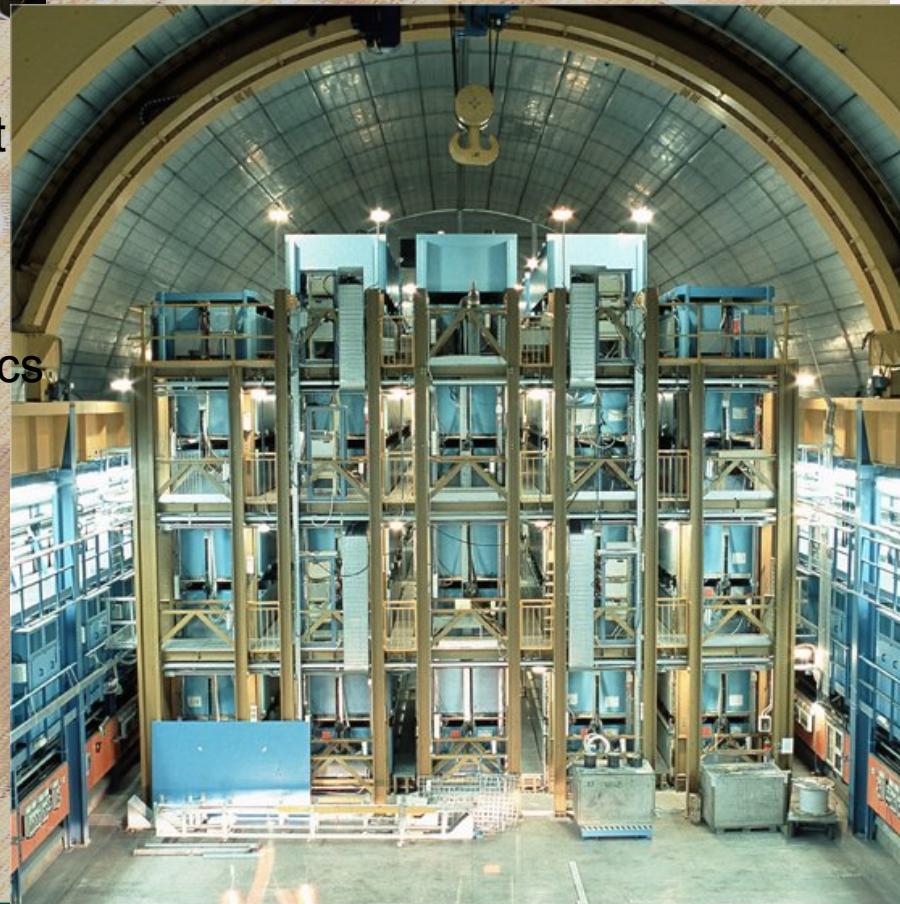


- ✓ the largest iron-scintillation telescope in the world
- ✓ 3 towers:
 - ✓ 840 scintillation counters (1010 tons of scintillator)
 - ✓ 1000 tons of iron



Study & important results in:
• neutrino physics
• astrophysics
• cosmic ray physics
• search for rare processes

The main goal is to search for ν bursts from collapsing stars



LVD is 10 times expanded version of the LSD (Mont Blanc) apparatus which has detected the ν -burst from SN 1987A at 2:52 UT on February, 23, 1987. LSD & LVD are Russian-Italian projects. Scintillator & scintillation counters were elaborated and produced in INR, Russia

LVD can measure all types of neutrinos from collapsing stars

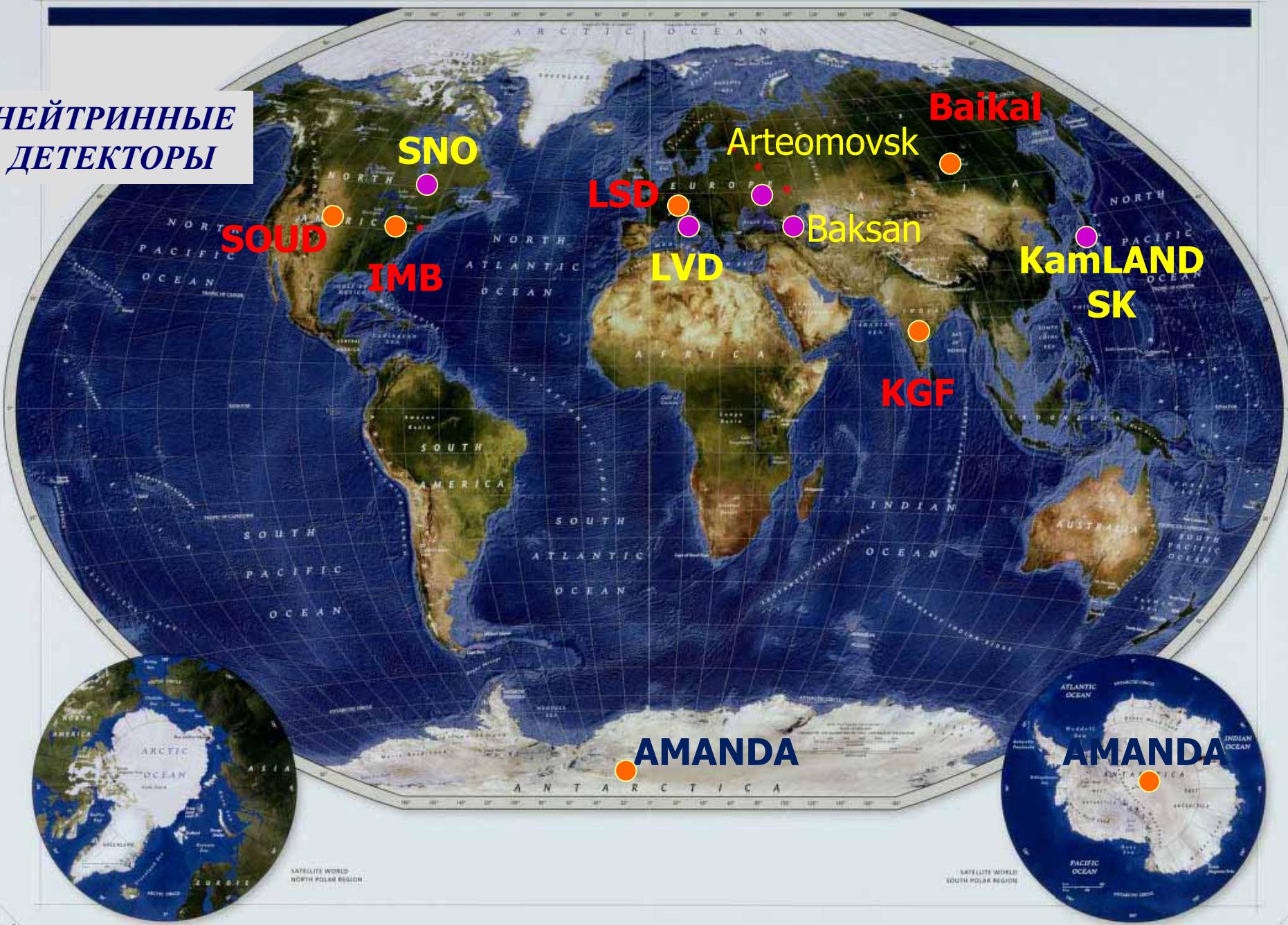


$$n + H \rightarrow d + \gamma \quad (E_\gamma = 2.2\text{MeV}) \\ n + {}^{56}Fe \rightarrow {}^{57}Fe + \sum \gamma \quad (E_\gamma = 10.16\text{MeV}) \quad \left. \right\} \tau \approx 185\mu s$$



and $\nu_i + {}^{12}C \rightarrow {}^{12}C^* + \nu_i, \quad (i = e, \mu, \tau); \quad {}^{12}C^* \rightarrow {}^{12}C + \gamma, \quad E_\gamma = 15.1 \text{ MeV}$

НЕЙТРИННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ



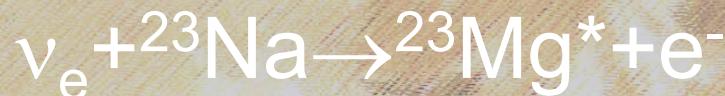
Detector	Depth m.w.e	Mass, ktons	Thre- shold, MeV	Efficiency				Number of events		Back- ground s^{-1}
				η_{e^+}	η_n	η_γ	$\bar{\nu}_e p$ $\bar{\nu}_e D + \nu_e D$	$\nu_e A$	$\nu_e C$	
Arteomovsk ASD Russia	570	0.1 C_nH_{2n}	5	0.97	0.8	0.85	57		19* 9**	0.16
Baksan BUST Russia	850	0.13 (0.2) C_nH_{2n}	10	0.6	-	0.2	45 (67)		5*(8) 3** (4)	0.013 (0.033)
KamLAND USA Japan	2700	1. C_nH_{2n}	~ 4				500		180* 80**	
Gran Sasso LVD Italy,Russia	3300	0.95 Fe 1. C_nH_{2n}	4 – 6	0.9	0.6	0.55	500	250* 100**	110* 50**	< 0.1
Kamioka Super-K Japan,USA	2700	22.5 H_2O	5.5	0.9	-	-	9400	650* <160**		
SNO Canada	6000	1 D_2O	5	* - E=40 MeV ** - E=30 MeV				700	600* 350**	

During 32 years ["Collapse" - 1977, LSD - 1984-2002, LVD - 1992(1 tower), 1998 (3 towers)] there were no observation of ν radiation from collapsing stars in the Galaxy. The collapse rate is less than 1 / 14 years at 90% c.l.

During 10 years there were no observation of ν radiation from collapsing stars in the Galaxy without **electron antineutrino radiation**. The rate of the such collapses is less than 1 / 4 years at 90% c.l.

LVD Modification

- Sodium chloride as a target for electron neutrino with energies ~ 50 MeV



MeV)

$$E_{\text{thr}} \sim 4 \text{ MeV}$$



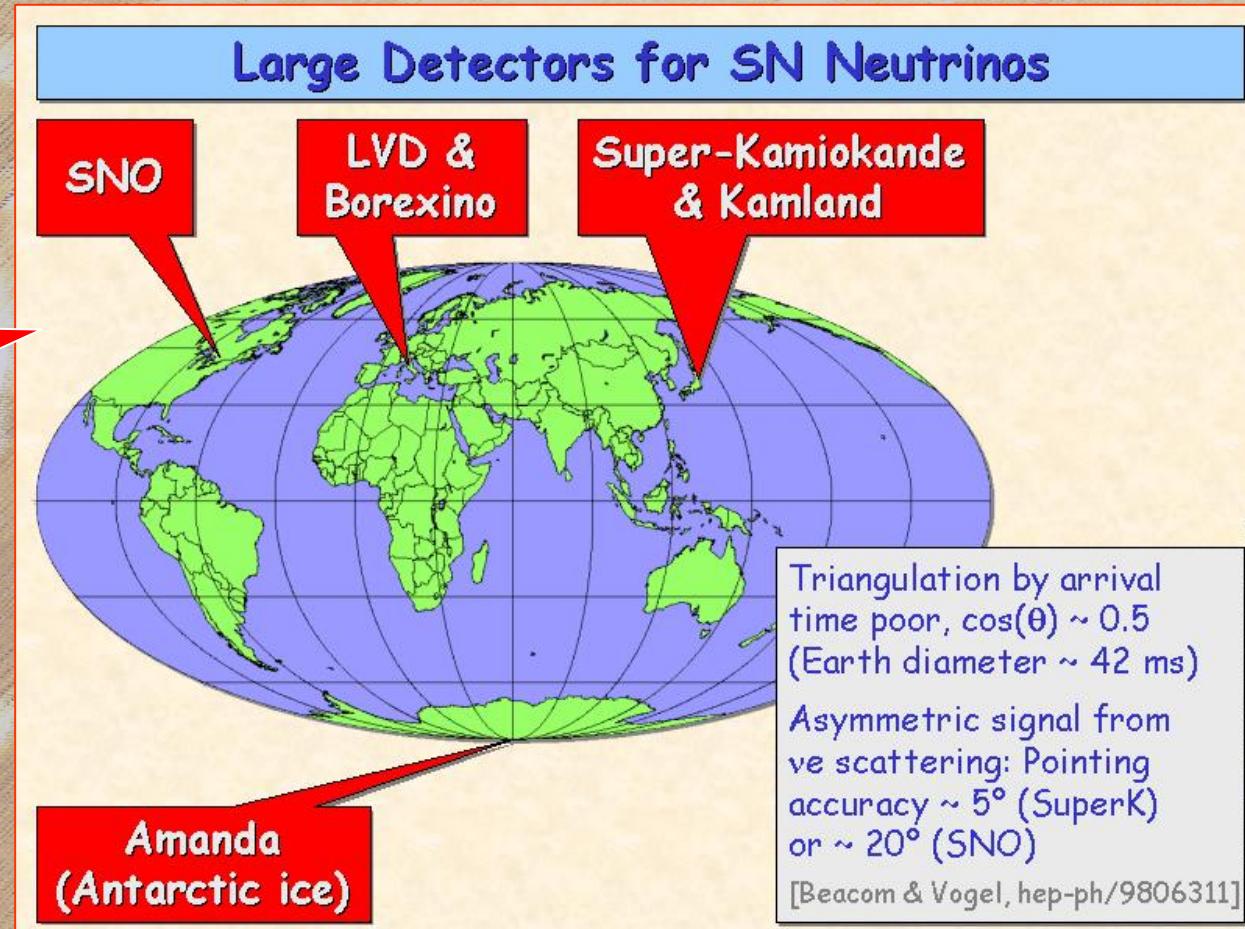
$$E_{\text{thr}} \sim 5 \text{ MeV}$$



$$E_{\text{thr}} \sim 0.8 \text{ MeV}$$

SNEWS

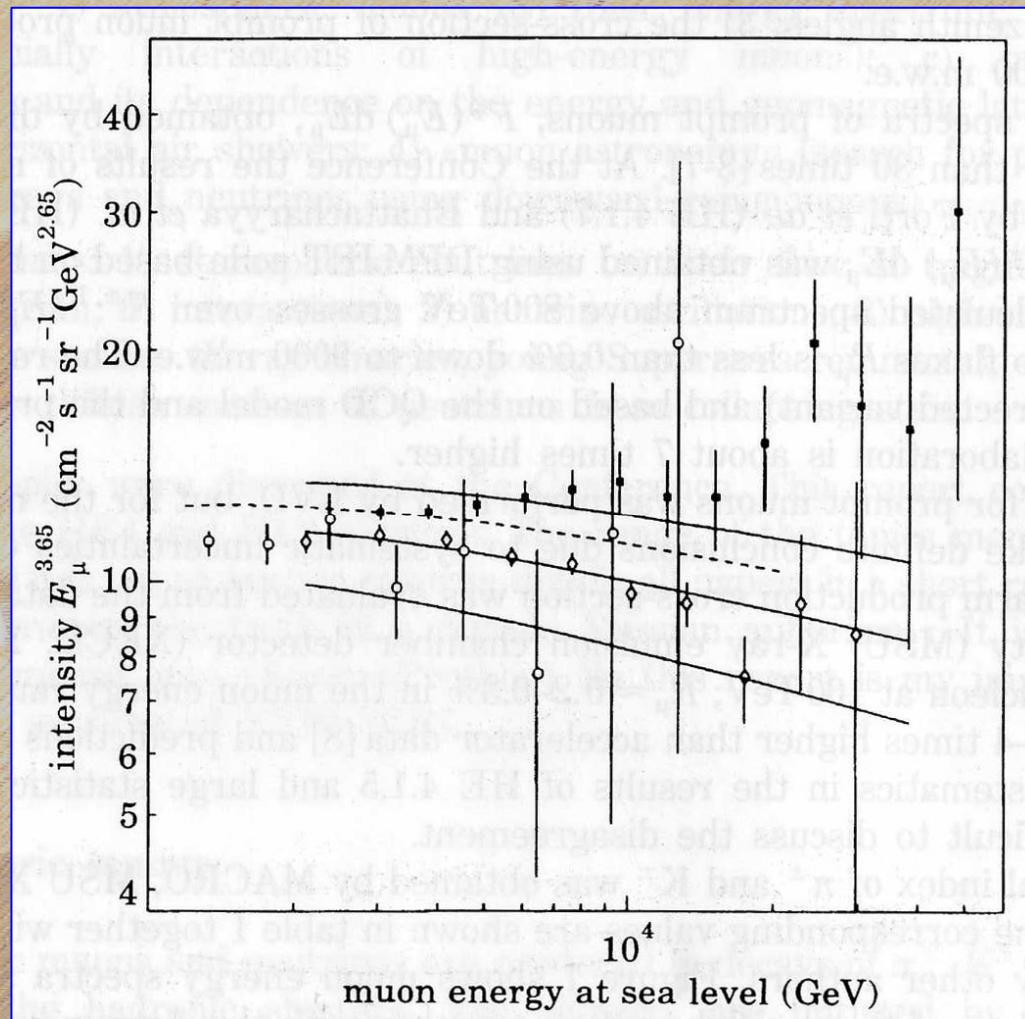
SuperNova Early Warning System



Исследование проникающей компоненты космического излучения под землей

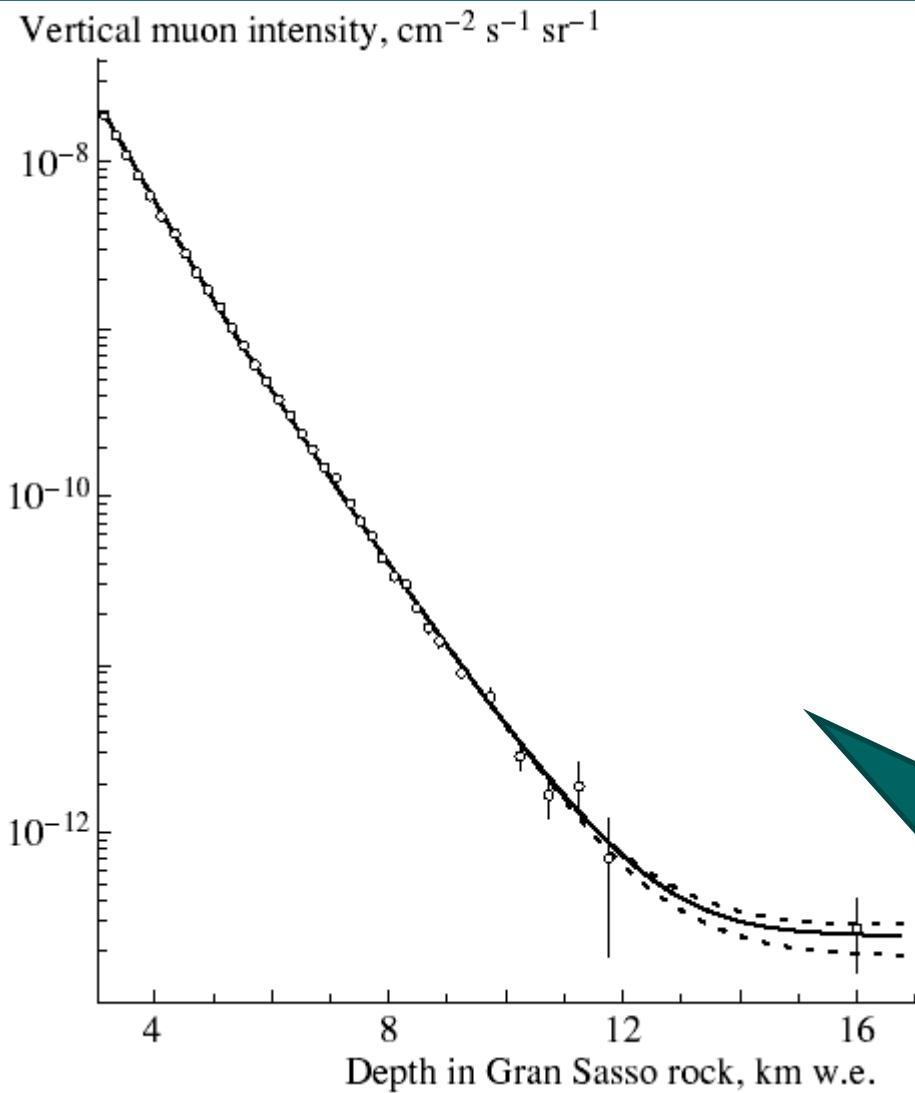
- ✓ Энергетические спектры мюонов,
- ✓ Изучение глубоко неупругого взаимодействия мюонов высокой энергии
- ✓ Генерация ядерноактивной компоненты под землёй
- ✓ кривая глубина – интенсивность мюонов,
- ✓ кривая глубина – интенсивность нейтронной компоненты
- ✓ Сезонные вариации мюонов к.л. под землей с $E > 2$ ТэВ
- ✓ μ^+/μ^- отношение
- ✓ Мониторинг пучка из ЦЕРНа

АНС ИЯИ РАН,
БНО ИЯИ РАН,
МГУ, LSD, LVD



Vertical muon energy spectra at the sea level: diamonds: LVD data; circles: ASD data; bold boxes: MSU data; solid curves: LVD best fit ($\gamma=2.75$) together with the error corridor of the parameters and absolute flux normalization; dashed curve: MACRO best fit

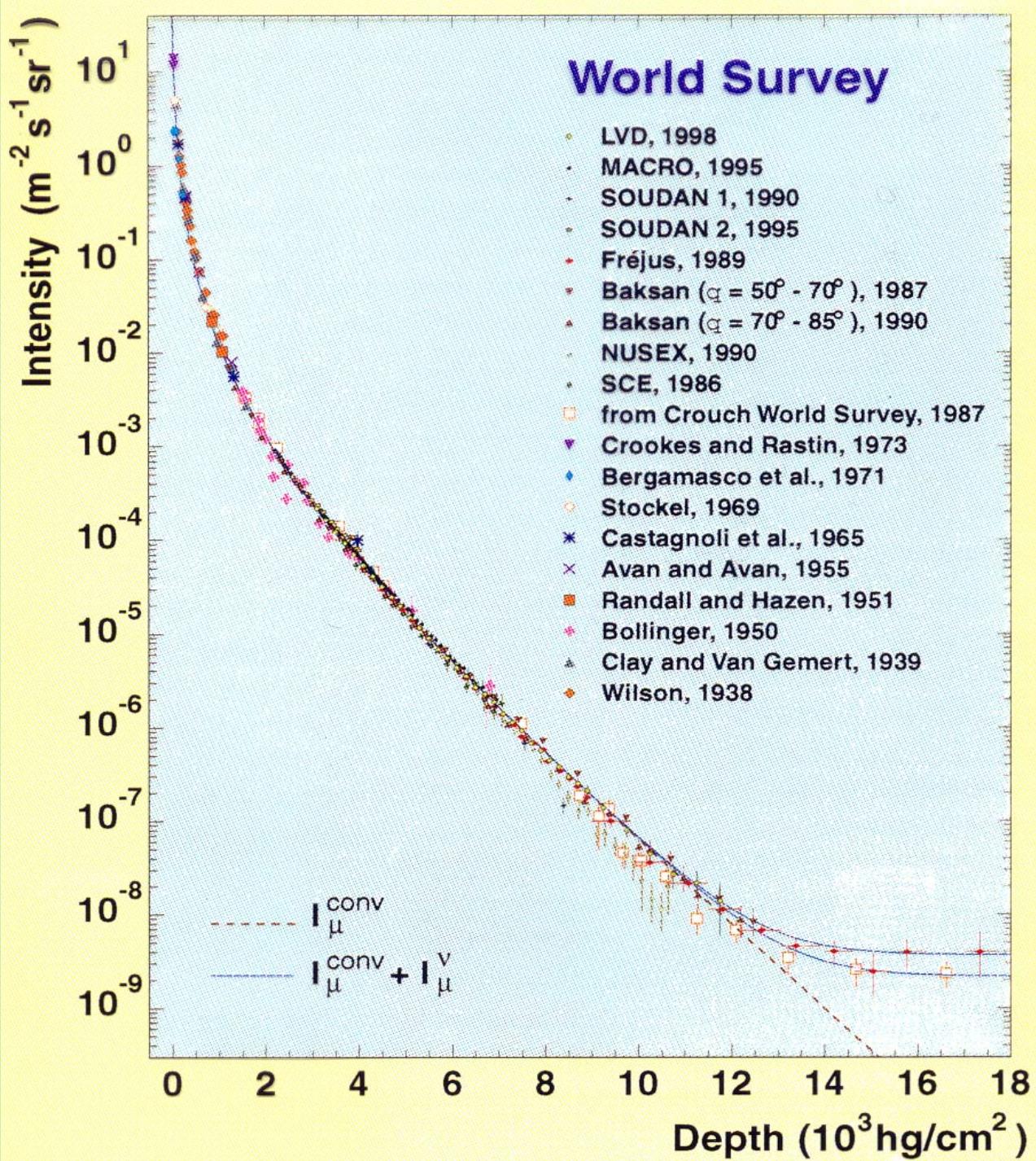
Depth–vertical muon intensity



Depth–vertical muon intensity relation in Gran Sasso rock. The LVD data are presented together with the best fit (solid curve). Dashed curves show the calculated intensities for the maximal and minimal contributions from neutrino-induced muons (see text for details).

Study of single muons with the Large Volume Detector at Gran Sasso Laboratory - LVD Collaboration.
Phys. Atom. Nucl. **66**, 123-129 (2003).

World Survey



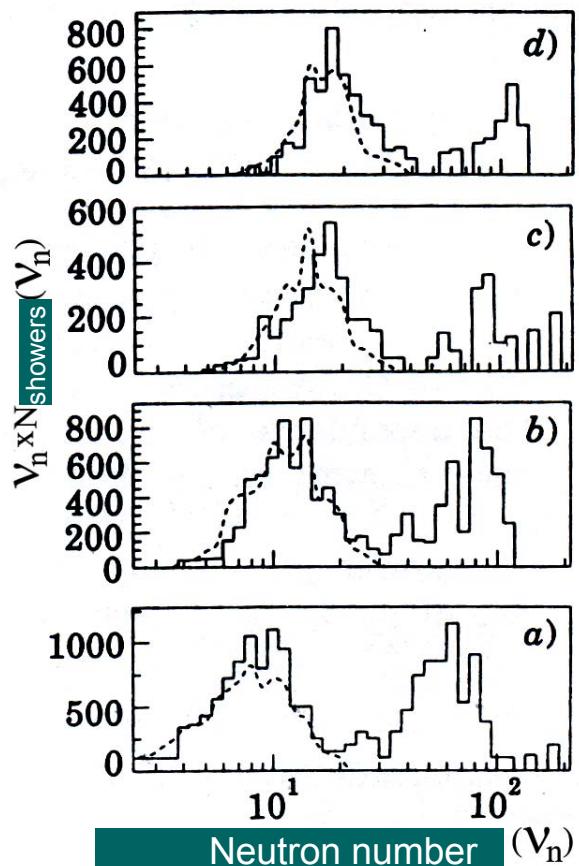
Spectral indices obtained in various experiments

Experiment	Spectral index	Method
LVD	$\gamma_{\pi,K} = 2.72 \pm 0.05$	DIC
MACRO	$\gamma_{\pi,K} = 2.78 \pm 0.09$	DIC
BUST	$\gamma_p = 2.65 \pm 0.05$ $\gamma_\mu = 3.80^*$	DIC SC
KGF	$\gamma_\mu = 3.60 \pm 0.05^*$	DIC
NUSEX	$\gamma_p = 2.79 \pm 0.03$	DIC
ASD	$\gamma_{\pi,K} = 2.75 \pm 0.08$	SC
MEPhI	$\gamma_{\pi,K} = 2.68-2.75$	SC
MSU	$\gamma_{\pi,K} = 2.67 \pm 0.03$ $\gamma_p = 2.64 \pm 0.03$	SC SC
DEIS	$\gamma_{\pi,K} = 2.74 \pm 0.03$	MS
MUTRON	$\gamma_{\pi,K} = 2.71 \pm 0.03$	MS
AMANDA	$\gamma_{\pi,K} = 2.70 \pm 0.02$	DIC
SNO	$\gamma_{\pi,K} = 2.70$	DIC

* - for high-energy muons $\gamma_p = \gamma_{\pi,K} = \gamma_\mu - 1$

DIC - Depth-intensity curve
 SC - spectrum of cascades
 MS - magnetic spectrometer

Dependence of the number of showers on the number of neutrons detected in them.



The histograms are the experimental data, the curves are MC calculations

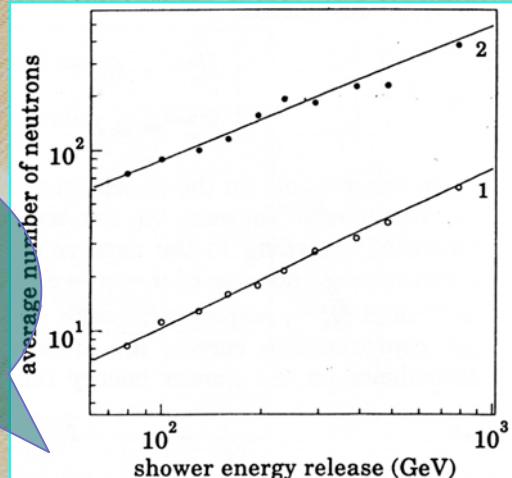
250-344 GeV

212-250 GeV

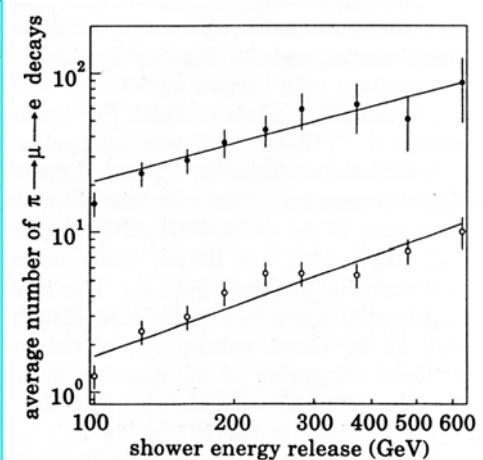
145-178 GeV

90-115 GeV

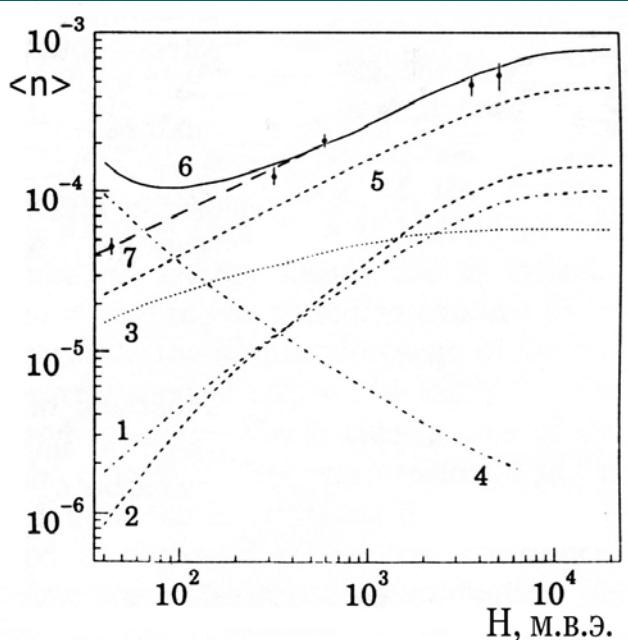
Enikeev et al., Sov. J. Nucl. Phys., 46, 1987



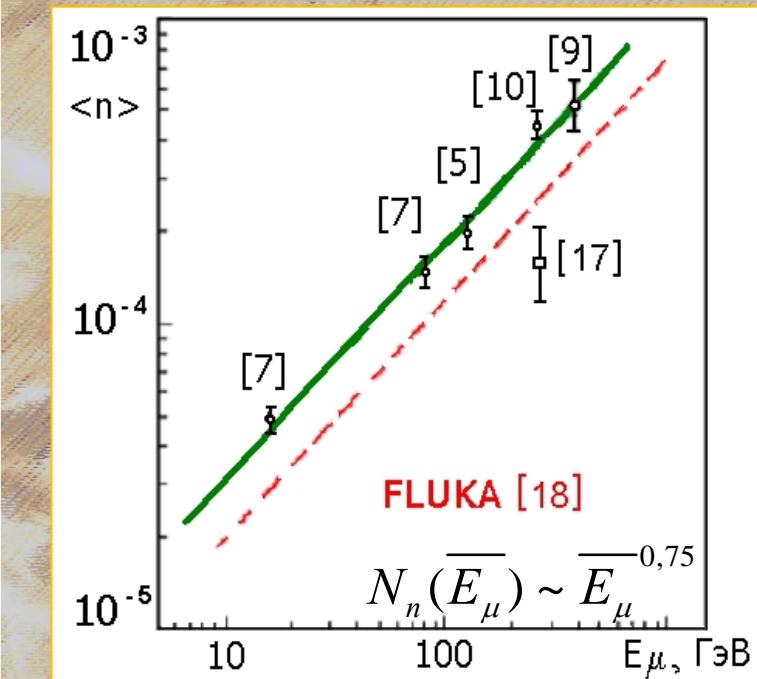
Dependence of the average number of neutrons on the energy release of the shower in the detector.



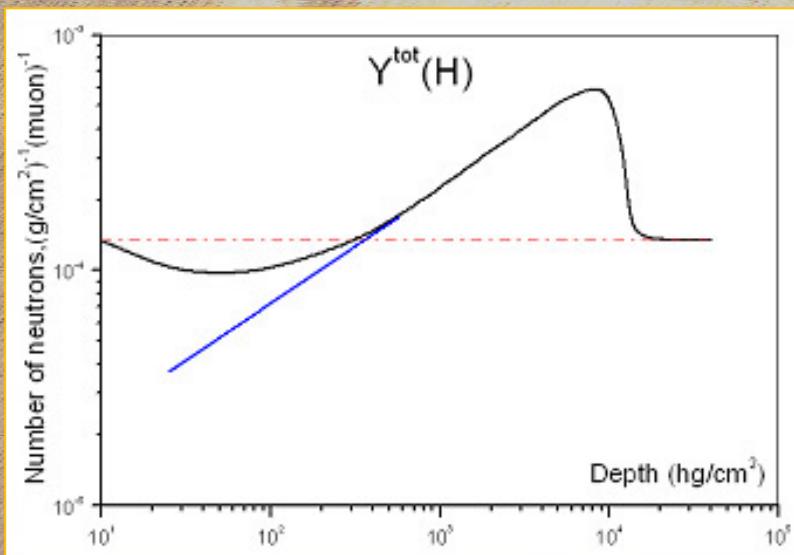
Average number of $\pi \rightarrow \mu \rightarrow e$ decays in electromagnetic and nuclear showers as functions of the shower energy release in the detector.



Число рождённых нейтронов на 1 мюон на 1 г/см² в зависимости от глубины грунта, рассчитываемой от границы атмосферы

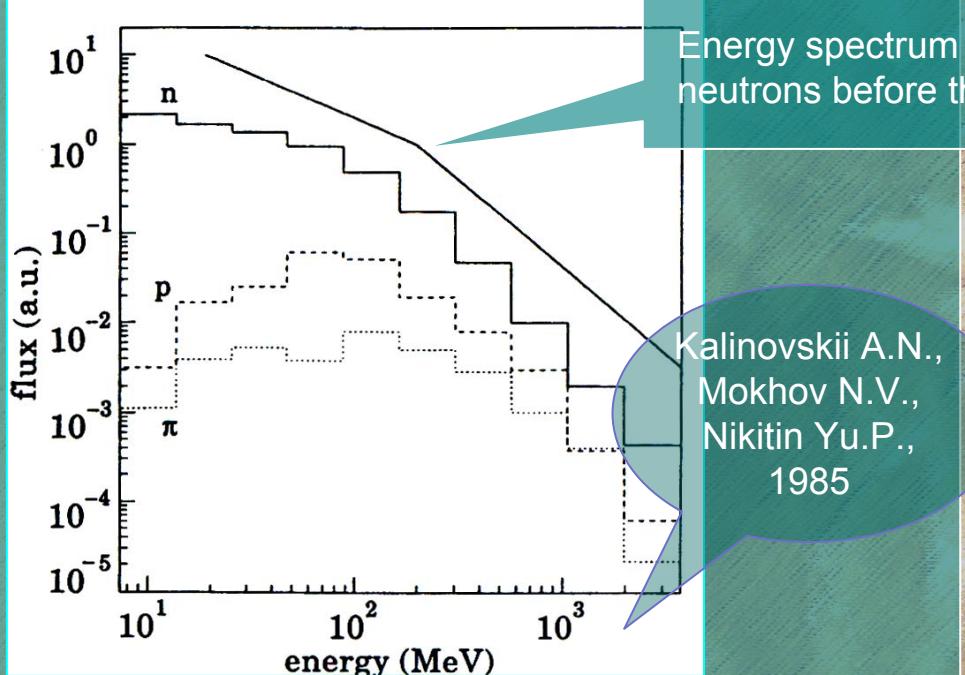


Число рождённых нейтронов на 1 мюон на 1 г/см² в зависимости от средней энергии мюонов на глубинах 25 [7, 8], 316 [7, 8], 570 [5], 3650 [10] и 5200 [9] м.в.э.; сплошная линия – расчет [1], пунктир – расчет по программе FLUKA [18].



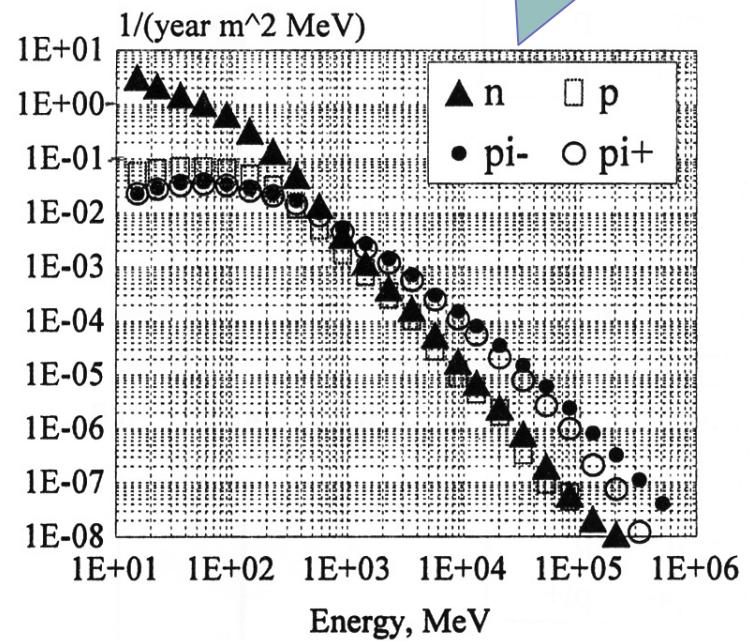
Число рождённых нейтронов на 1 мюон на 1 г/см² в зависимости от глубины грунта, рассчитываемой от границы атмосферы.

Energy spectrum of neutrons passed through the shield of 250 g/cm^2 together with the spectra of secondary protons and pions at the same distance.



Spectra of particles going into the LVD hall from the rock

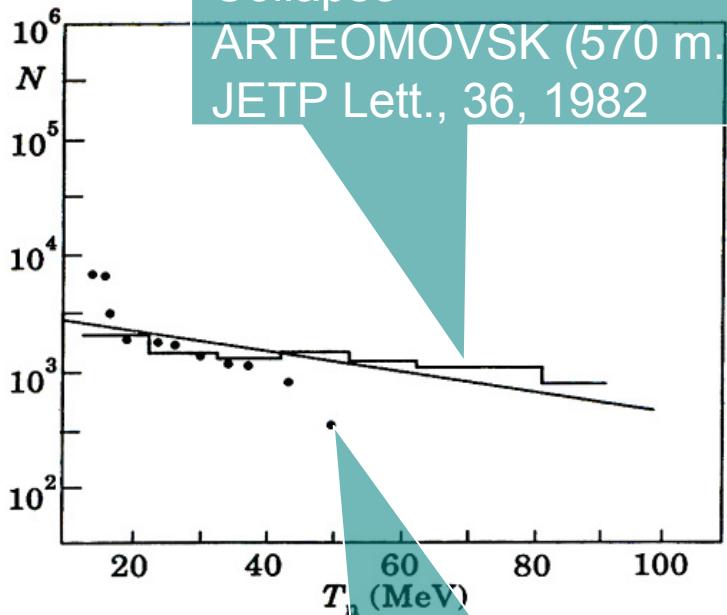
A. Dementiev,
V. Gurentsov,
O. Ryazhskaya,
N. Sobolevsky,
1999



D.G.R.S.,
Nucl. Phys.
B., 70, 1999

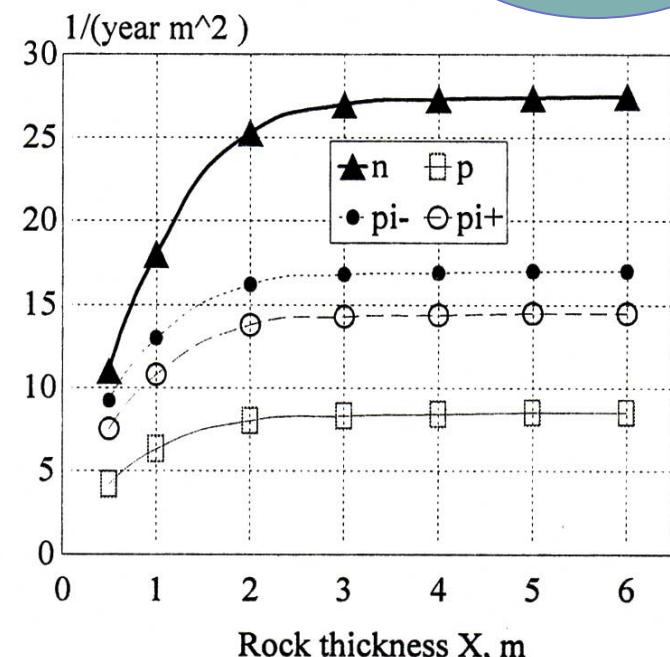
Collapse

ARTEOMOVSK (570 m.w.e),
JETP Lett., 36, 1982



Barton J.C., XIX ICRC,
LaJolla, Vol8, 1985

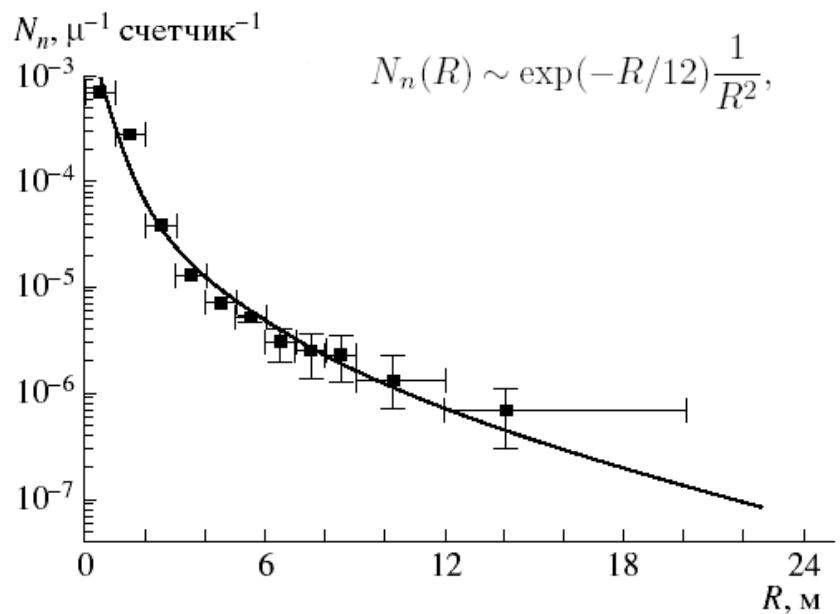
Energy spectrum of
isolated neutrons
underground.



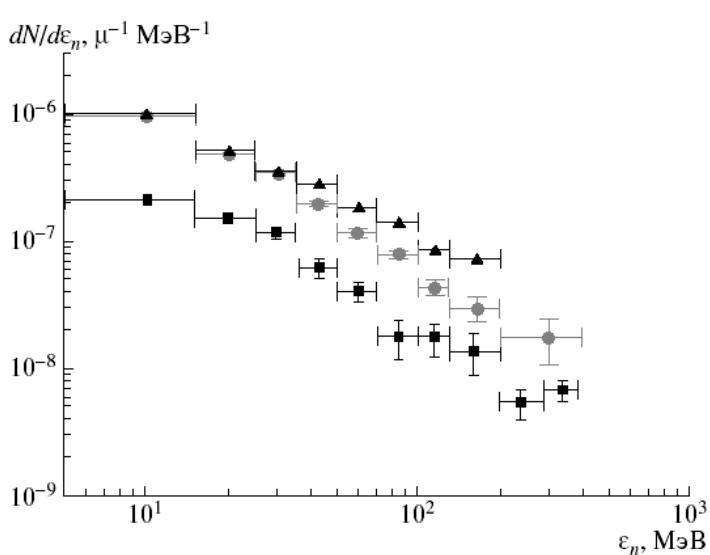
Number of particles (with $E > 200$ MeV)
going into the hall as a function of the
rock thickness



Neutron space distribution
till 22 m from muon track
are measured



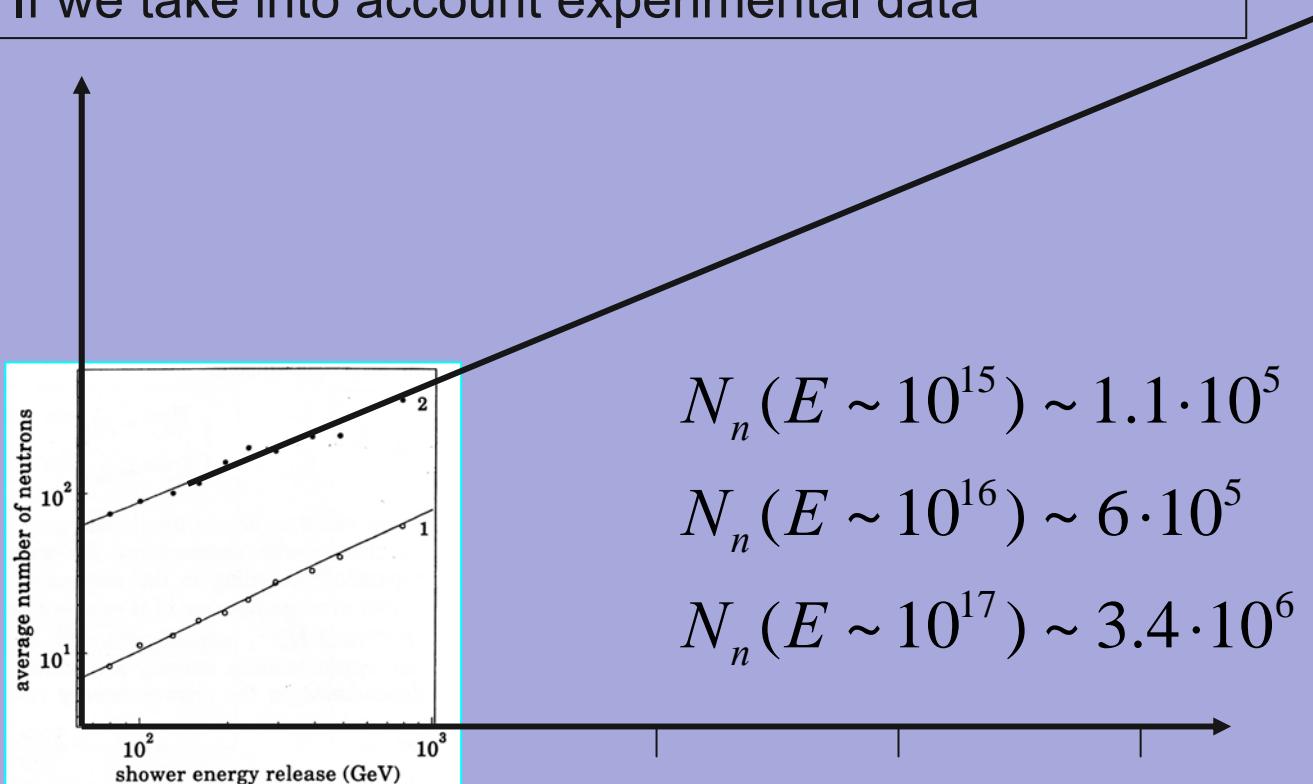
Energy spectra of neutron-produced events till 300 MeV



Экспериментальный спектр
энерговыделений, произведенных
нейтронами на расстоянии $R > 1$ м
от траектории мюона и $R > 2$ м

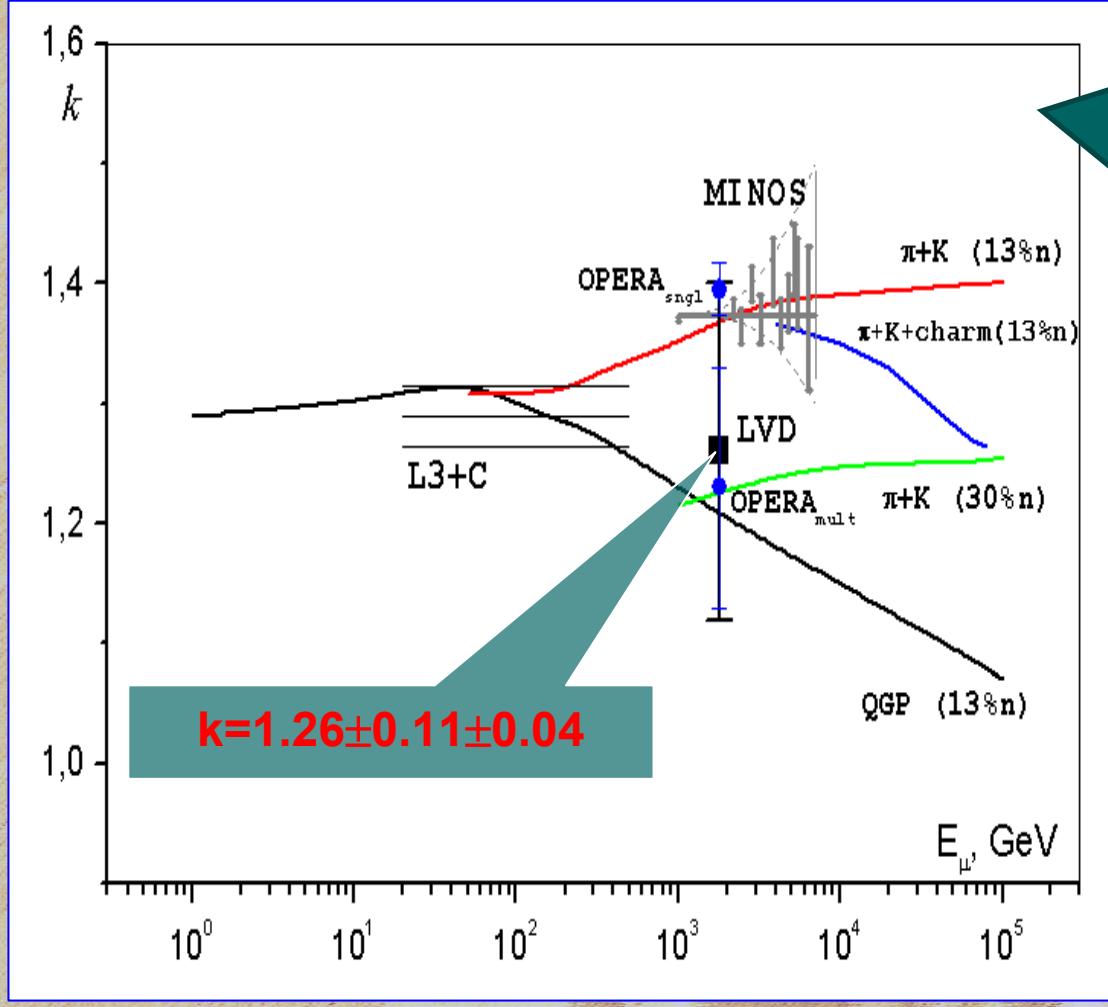
Some remarks about "n" in EAS

If we take into account experimental data



E_{sn} can be estimated by measurements of N_n

The μ^+/μ^- Ratio



ICRC 2009, Lodz,
Poland; **The muon
decay and muon
capture detection with
LVD - LVD Coll. -**
*In: 29th ICRC, Pune, 6,
69-72, 2005.*

Curve – L. Volkova Phys. Of Atomic Nuclei (2008), 71, 1782;

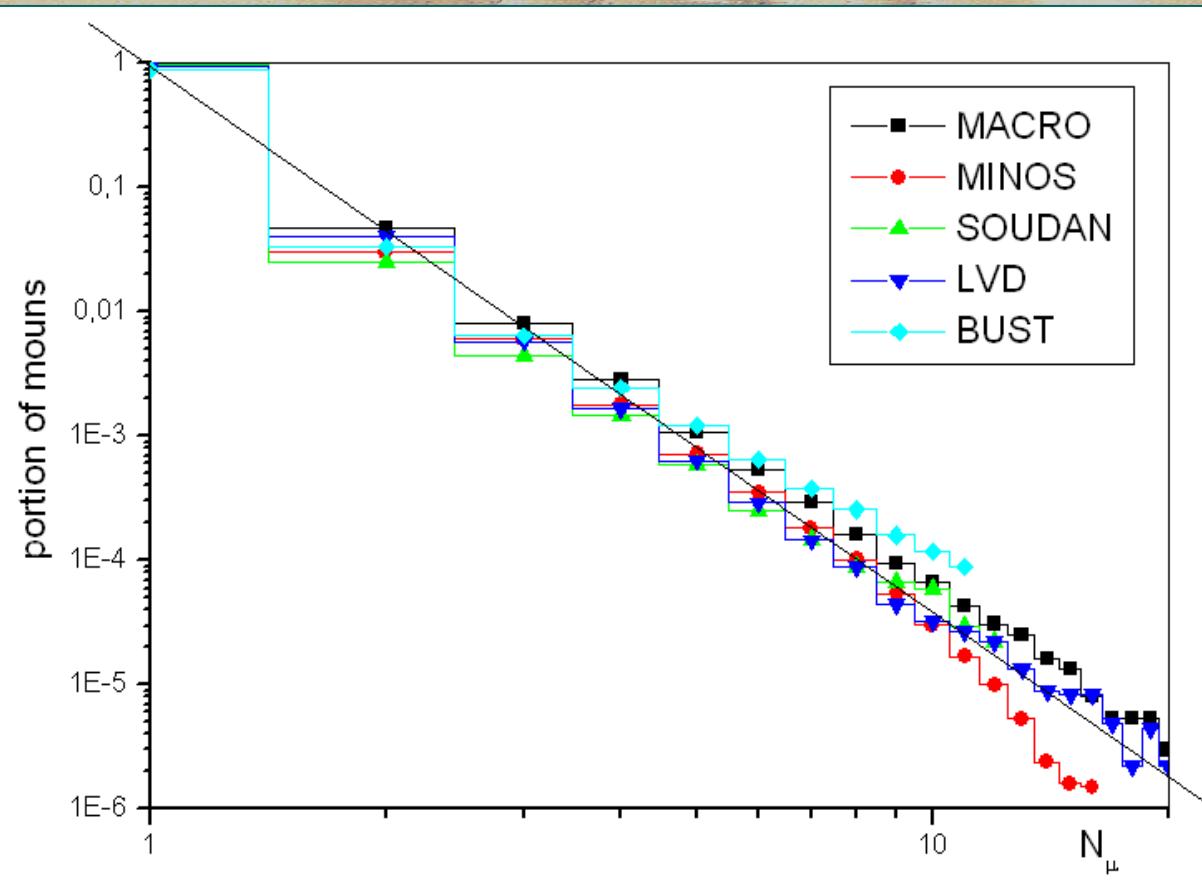
MINOS – Mufson S.L. and Rebel V.J. for the MINOS Coll., 30th ICRC, Mexico, 2007;

L3+C – The L3 Coll., arxiv: hep-ex/0408114 v1, 2004

OPERA – M.Sioli for the OPERA Coll, in ICRC2009

LVD – LVD result, ICRC2009

Кратность мюонных групп

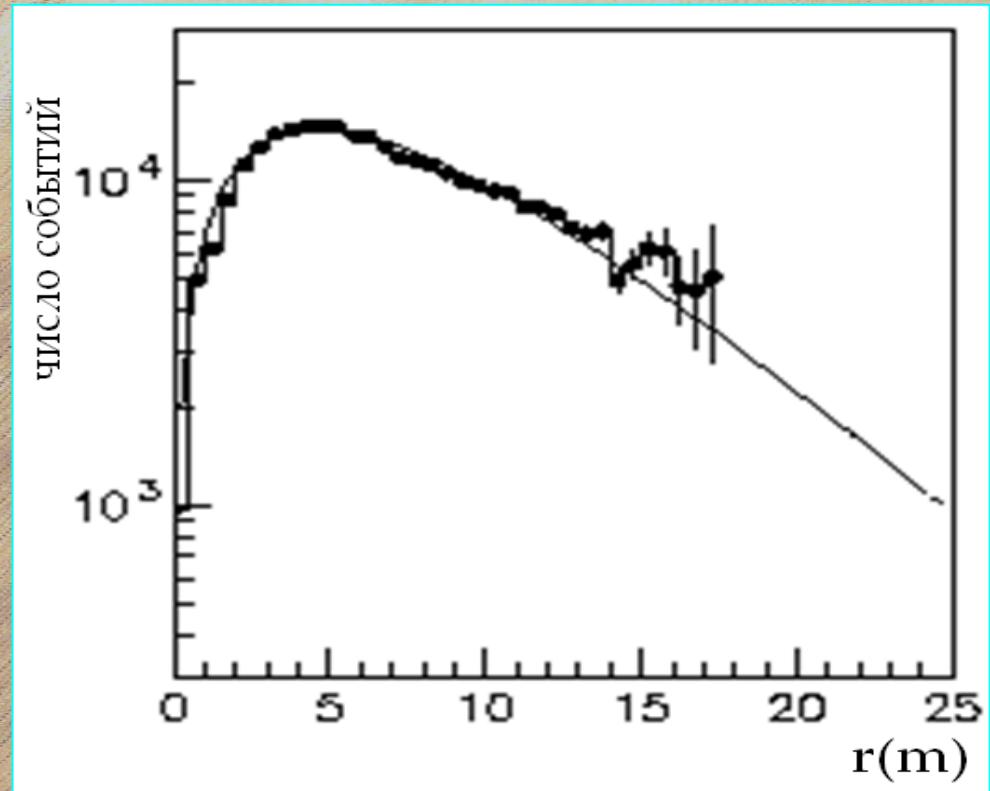
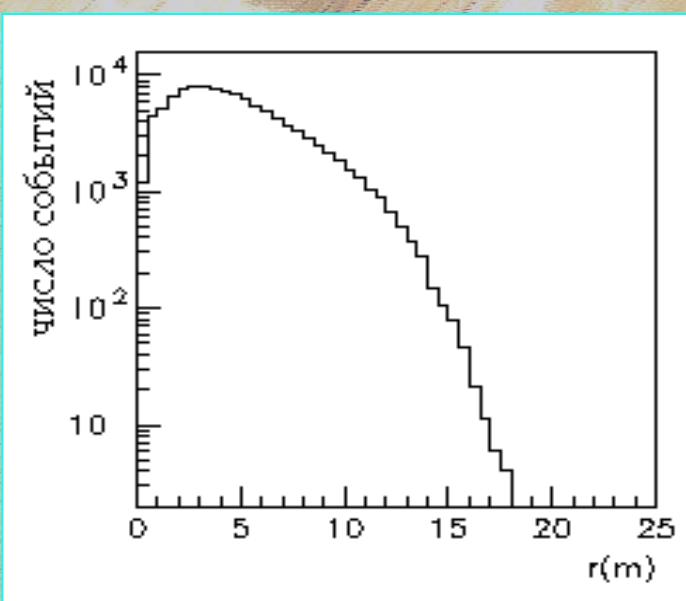


всего мюонных событий	2267959
всего мюонов	2414796
одиночных мюонов	2155844
множественных событий	112115
множественных мюонов	258952

Кривая раздвижения

Зависимость расстояний между мюонами в группе дает информацию о поперечных импульсах. Вместе с кратностью мюонов можно получить и информацию об энергетическом спектре адронов. Измерения спектров и распределений атмосферных мюонов по расстояниям дает возможность проверки моделей ядерного каскада в атмосфере, т.е. параметров первичного космического излучения (энергетический спектр и хим. состав) и взаимодействий частиц при высоких энергиях.

Распределение комбинаций пар по расстоянию между мюонами в паре для всех групп.

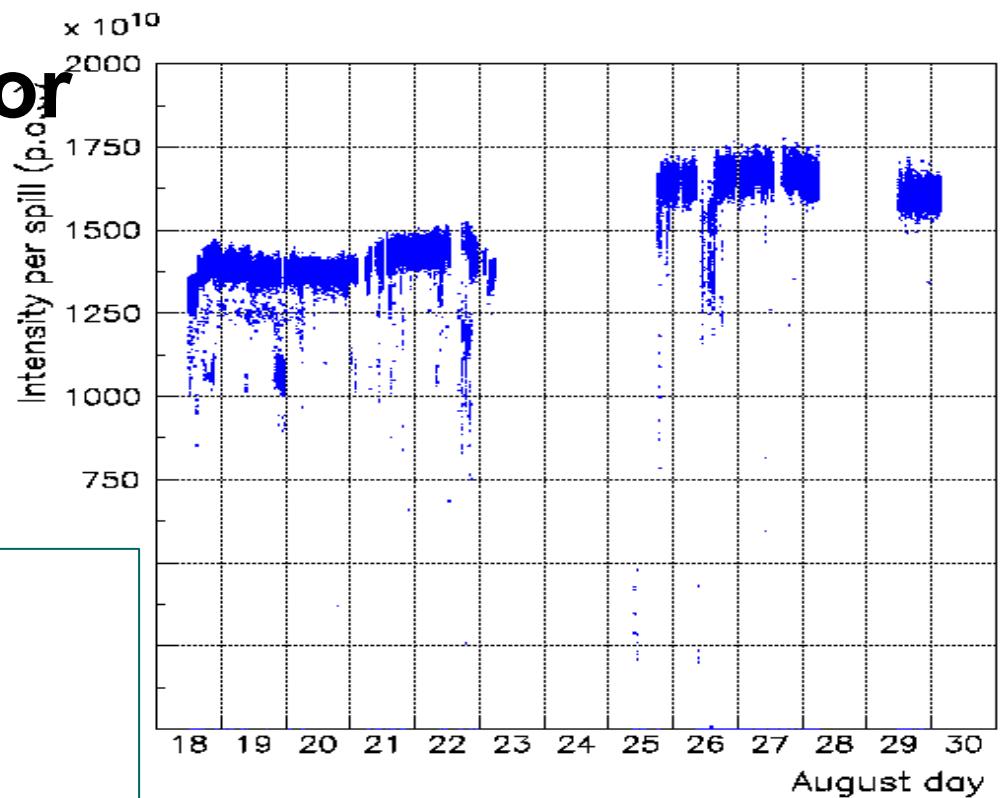
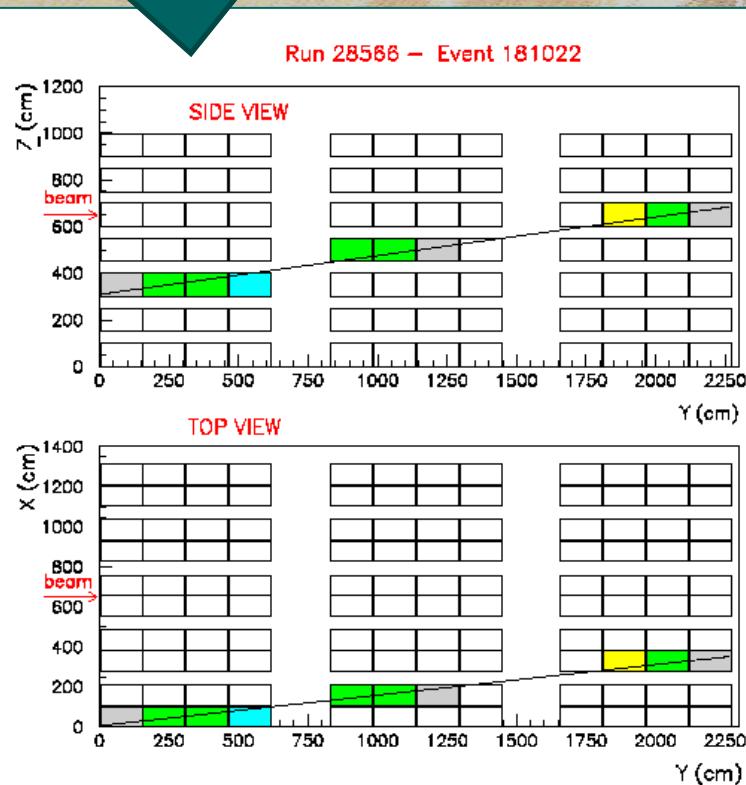


$$f(r) = \frac{A \cdot r}{r_0^2} \cdot e^{-\frac{r}{r_0}}$$

CNGS beam monitor

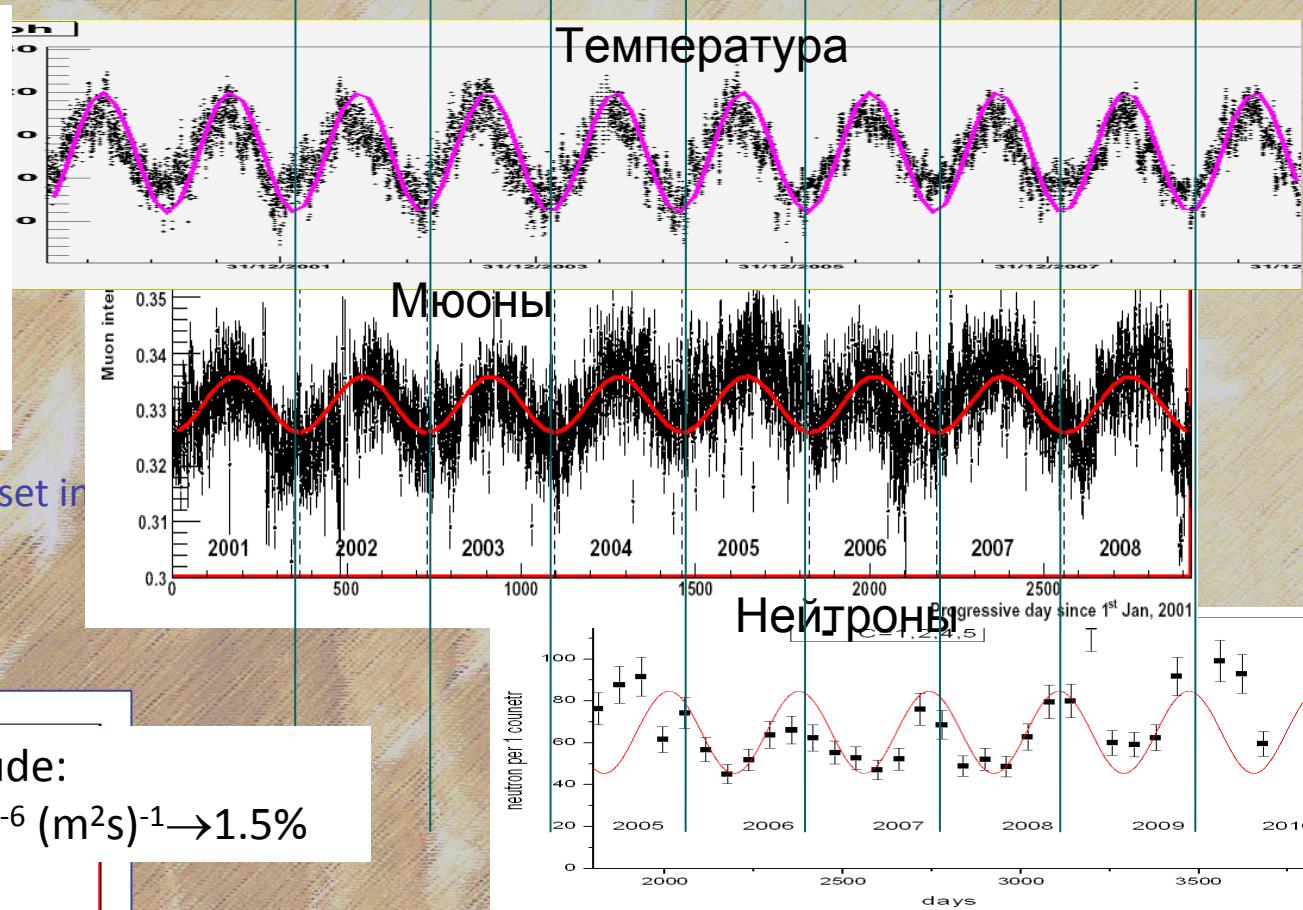
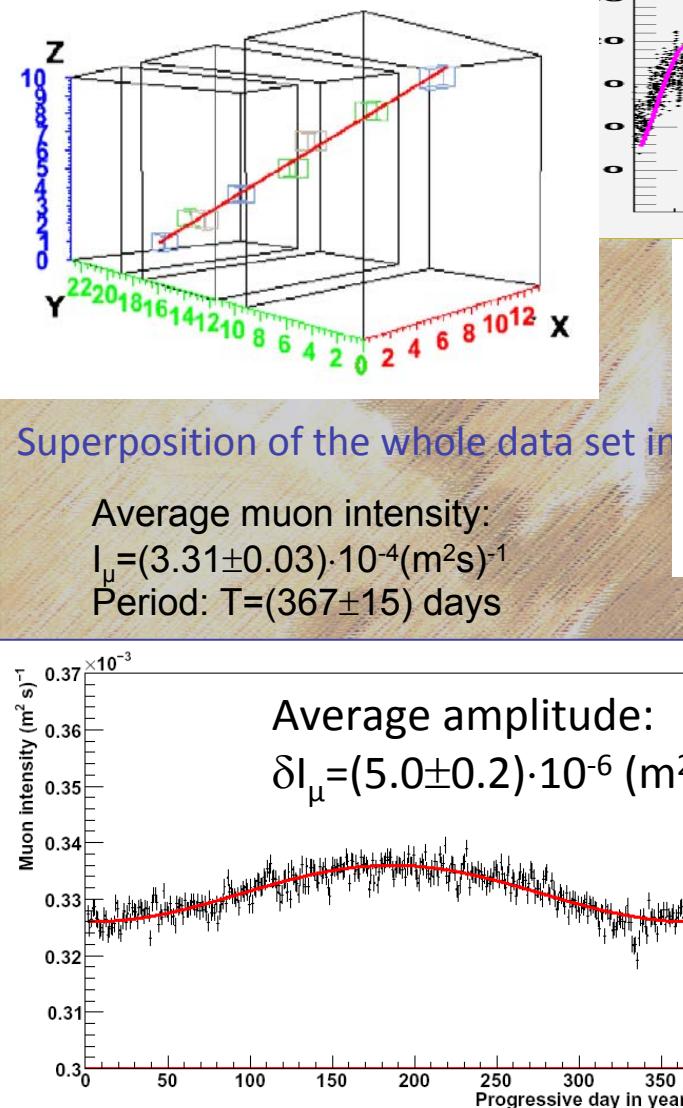
First CNGS events
detected by LVD. - LVD
Coll.

Published in: Eur. Phys. J.
C52 (2007) 849-855



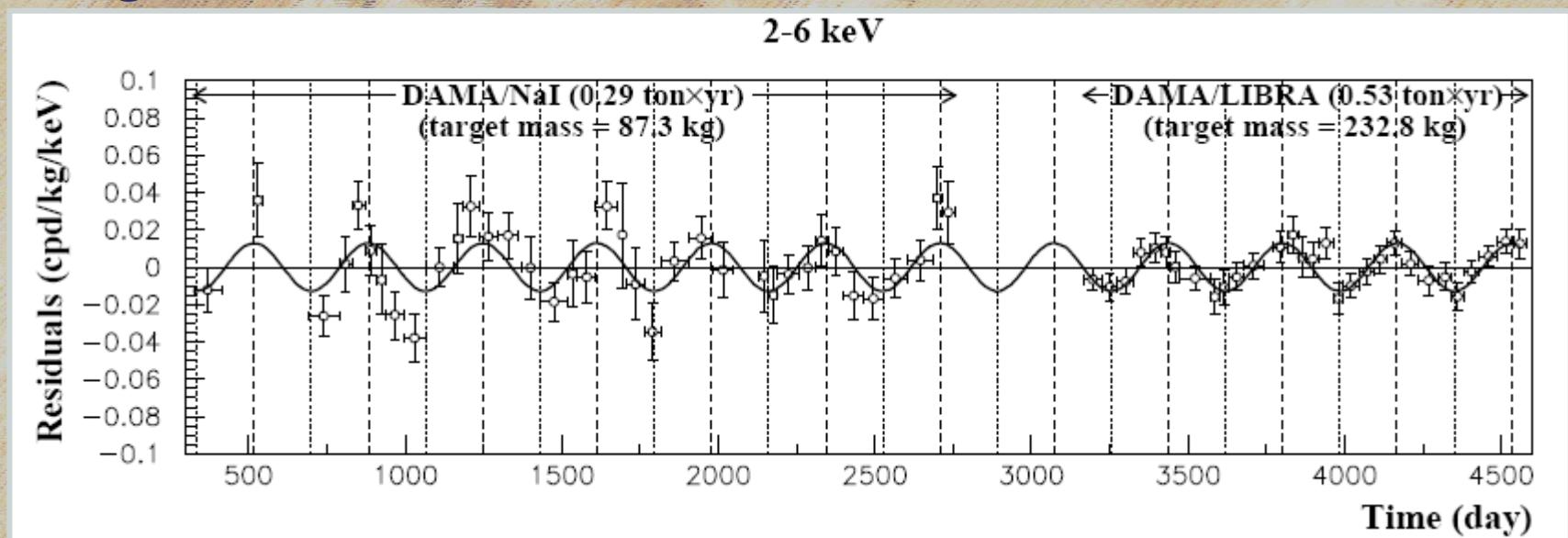
Display of a CNGS events: typical charged current interaction in the rock upstream LVD, producing a muon that goes through the detector. The colours represent the amount of energy released in the scintillation counters, summed along each projected view; the legenda is expressed in GeV. The black straight line is the result of a linear fit to the hit counters

Analysis of the seasonal modulation of the cosmic muon flux



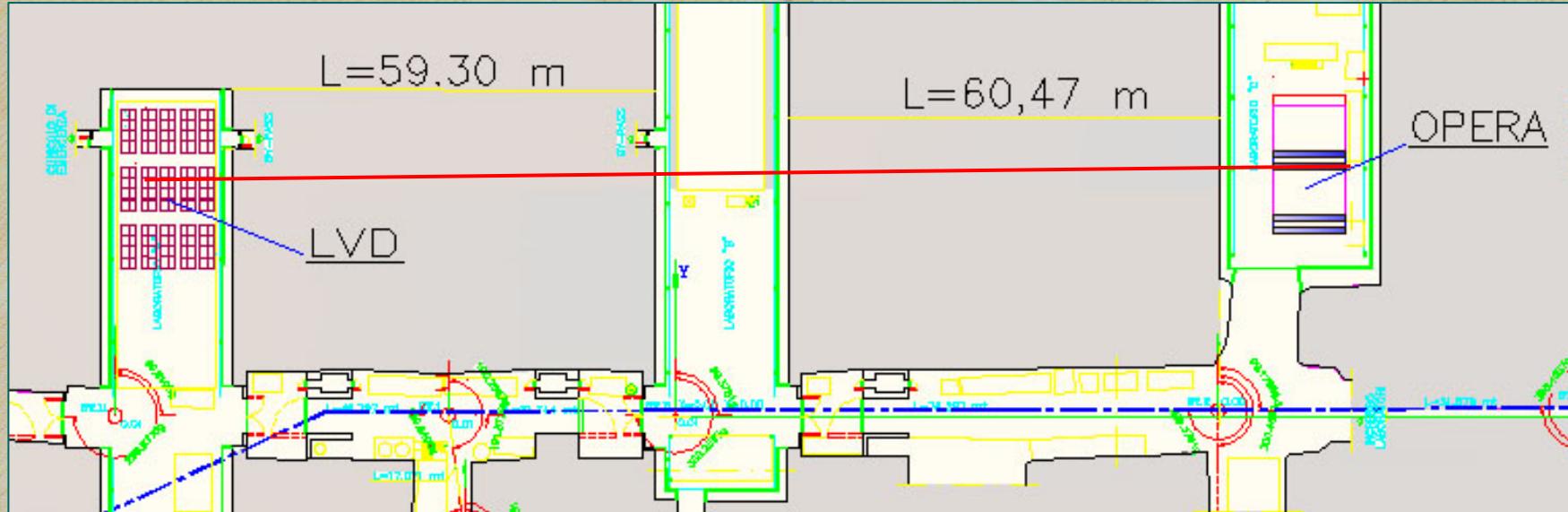
The study of the seasonal modulation of the cosmic muon flux during 2001-2008 has been completed.
 An annual modulation with average amplitude 1.5% and maximum intensity in July has been found, in agreement with previous measurements at LNGS.

For studying the rare processes, as search for dark matter (for example) it is necessary to take into account the existing of the muon variation at the higher depth underground



The superimposed curves represent the sinusoidal behaviours $A \cos(\omega(t - t_0))$ with a period $T = 1$ yr, with a phase $t_0 = 152.5$ day (June 2nd). The dashed vertical lines correspond to the maximum of the signal (June 2nd), while the dotted vertical lines correspond to the minimum.

LVD-OPERA horizontal events



$E_{\text{min}} \sim 70 \text{ GeV}$

$\Delta t = 573 \text{ nsec}$

Data from August 2006 to January 2010
All events are going parallel the tunnel.
The energy losses should be higher then
5 MeV in each counter and at
least in one of them higher then 120MeV.

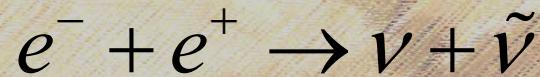
Спасибо за внимание!

On the experimental possibilities of the observation of neutrinos from collapsing stars

At the ICRC in London, 1965, in the paper “On the experimental possibilities of the observation of neutrinos from collapsing stars” G.V. Domogatsky and G.T. Zatsepin started to discuss the possibility for the experimental detection of such processes.



if the mass of star is $M \sim M_{\text{sun}}$



if the mass of star is $M \gg M_{\text{sun}}$

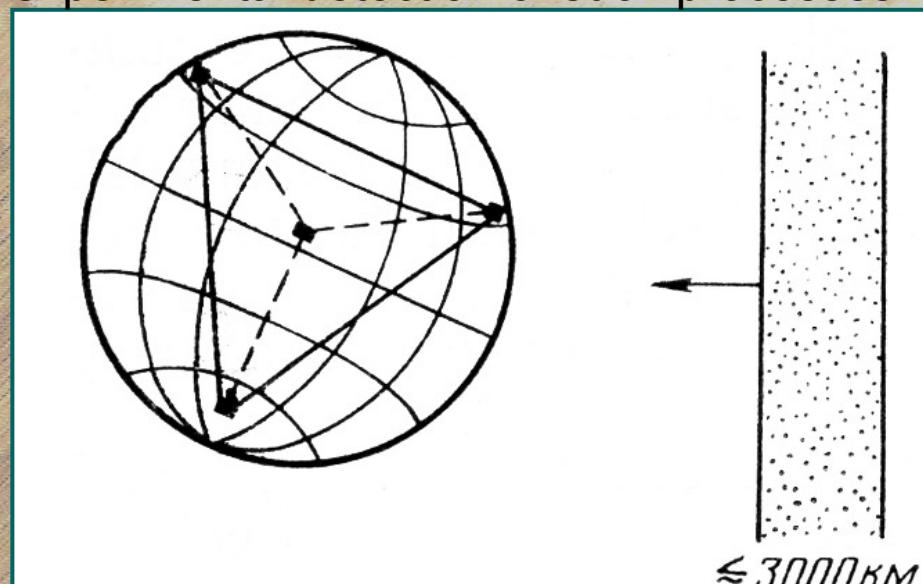


Diagram of the directional arrangement.

A proposal of complete experiment must provide information about the direction and energy spectrum of the incident flux of neutrinos and antineutrinos as well as the time distribution was presented.

1. **The coincidences between the signals from the Maryland and Rome gravitational antennas and the signals in the LSD and K2 detectors were studied** [Amaldi et al.// Ann. New York Acad. Sci. **571**, 561 – 1989; Aglietta et al.// Proc. 21 ICRC, **2**, 246 – 1990, Nuovo Cimento C **14**, 171 – 1991].
2. **LSD – K2 correlations** [Aglietta et al. // Ann. New York Acad. Sci, **571**, 584 – 1989, Nuovo Cimento C **12**, 75 – 1989, Proc. 21 ICRC, **2**, 246 - 1990]
3. **LSD – BUST correlations** [Aglietta et al. Ann. New York Acad. Sci, **571**, 584 – 1989, Nuovo Cimento C **12**, 75 – 1989, Proc. 21 ICRC, **2**, 246 - 1990; Chudakov 1989 Ann. New York Acad. Sci, **571**, 577 – 1989]
4. **The double pulses in LSD** [Dadykin et al. // Proc. TAUP'89, 339 - 1989, Izv. AN SSSR, Ser. Fiz., **55**, 4 – 1991; JETP Lett. **56**, 426 1992].

- The results of these works disagreed with theoretical predictions and seemed difficult to understand. The hope that the recording of other stellar collapses much closer to the Earth would clarify the situation then played an important role in shaping the attitude to these works. We share this view.
- **However, given the pessimistic estimates of the rate of collapses, this may not happen soon. Hence, it is not expedient to neglect the information available at present. Therefore, we wish to draw the attention of researchers to the above works and bring them again into scientific use.**
- Despite all of the difficulties in understanding the results of these works, they contain **something that does not allow them to be rejected as a kind of incidents** that commonly happen when experiments are analyzed. Before elucidating our idea, we will have to make several remarks.

About method

First – temporal coincidence.

The technique of searching for neutrinos from stellar collapses is the temporal coincidence between the pulses in various detectors. This practice reduces background pulses and noise and can find something else.

Example: the coincidence of the signals at 7:35 UT on February 23, 1987 in three detectors: K2, BUST, and IMB. This technique helps to find:

- K2 clocks were 7 s slow;
- BUST clocks - 30 s fast relative to the UT standard.

If this effect is not taken into account the excess of coincidences between the pulses from various detectors, does not exist.

Second, studying the coincidences in very narrow time windows

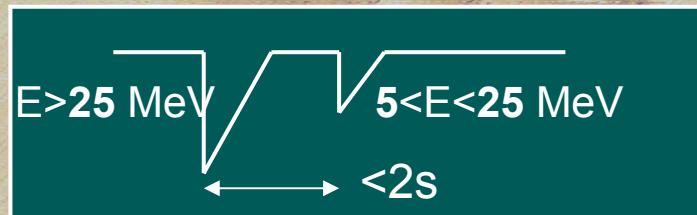
- In a normal mode of operation, the neutrino detectors record pulses with a rate of about 10^{-2} s^{-1} day by day for many months and years.
- If n_1 and n_2 are the background pulse rates in detectors 1 and 2 and Δt is the time window =>

$$n_{\text{chance}} = 2\Delta t n_1 n_2.$$

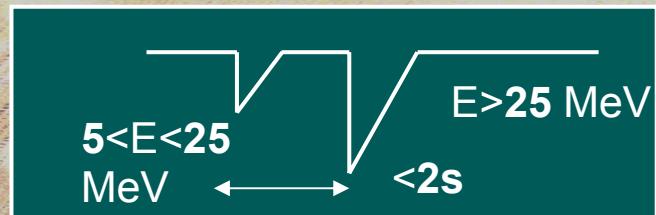
- LSD – K2: $n_{\text{chance}} = 1 \text{ per hour};$
- LSD – BUST: $n_{\text{chance}} = 1.5 \text{ per hour};$
- The measured rate of coincidences corresponded to these values for the long time intervals studied, up to several tens of days. The only exception is the time interval when the supernova explosion was observed.
- on February 23, 1987:
 - LSD – K2: $n_{\text{detected}} = 8 \text{ per 2 hours};$
 - LSD – BUST: $n_{\text{detected}} = 13 \text{ per 2 hours};$

Double pulses in LSD

On February,23, 1987, from 5:42:48 UT to 10:13:04 UT
double pulses were detected



or



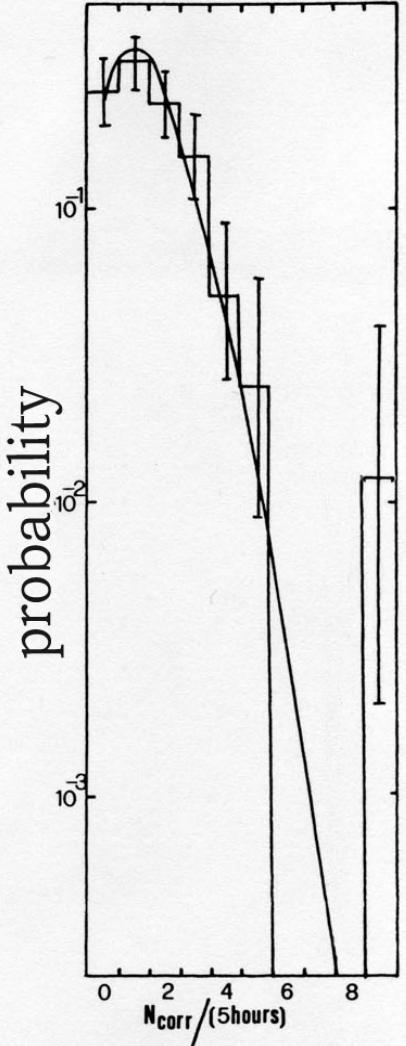
$n_{chance} = 0.275 \text{ per hour}$ from statistics $\sim 1 \text{ year}$

$n_{expected} = 1.3 \text{ per } 4.5 \text{ hours}$

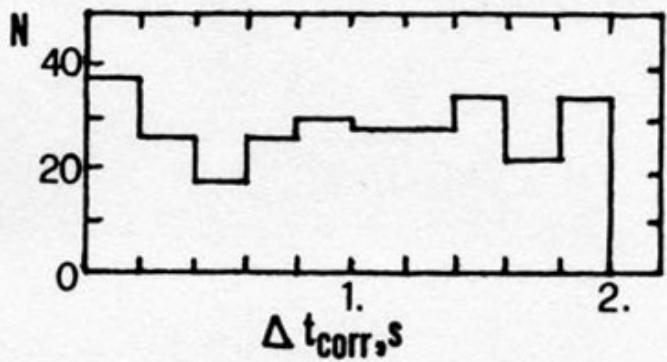
$n_{detected} = 9 \text{ per } 4.5 \text{ hours}; D_t < 2 \text{ sec}; \langle t \rangle = 1.5 \text{ sec.}$

Probability of the coincidence by chance with the day of SN:

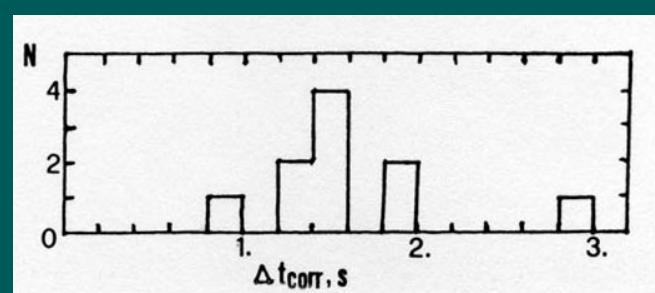
$1 / 3 \cdot 10^3 \text{ years}$



The probability distribution of the counting rate of pairs of correlated pulses per 5 hours and the poissonian fit to this distribution; $\langle n_{\text{corr}} \rangle = 1.46/(5 \text{ hours})$, $\Delta T=2 \text{ s}$



The distribution of time differences between the pulses in the pairs ($\Delta t=2 \text{ s}$) for the whole data set excluding the interval of interest



For 10 pairs ($\Delta t=3 \text{ s}$) from 5:42 UT to
9 pairs ($\Delta t=2 \text{ s}$)
10:13UT on February 23, 1987 .

**мюонные события и соответствующий им
нейтронный выход**

	всего событий:	Число мюонов	N_{muon}	Число нейтронов	N_{neutron}	Y_n= k*N_n/N_m	N_n/N_μ
Одиночные события	Одиночные мюоны	23914	28696	3750	9728	0,000403	0.157
	Одиночные мюоны с ливнем	4782		5978			1.25
Multiple	Множественные мюоны	2736	3284	422	1128	0,000408	0.154
	Множественные с ливнем	548		706			1.29
«stop»	Неподдающиеся реконструкции	162	162	132	132	-	
		31980	31980	10856	10856	0,000403	
Всего мюонов		32142	32142	10988	10988	0,000406	