Experiment LVD
The International cooperation

Natalia Agafonova

Institute for Nuclear Research RAS

Intergovernmental Agreement Italia – Russia (USSR)

Some history.

- In the early 60's there were ideas about the use of scintillation methods for the detection of neutrinos from the supernovae collapse.
- Once, at an international conference, Castagnioli and Zatsepin agreed to build a detector under Mont Blanc.
- In addition, the USSR has already developed a cheap scintillator on basis of wait-spirit and built large-scale detectors in Artyomovsk and Baksan.

МЕМОРАНДУМ

о договоренности относительно сотрудничества в области астрофизики и исследования нейтрино

Министр Иностранных Дел Союза Советских Социалистических Республик и

Министр Иностранных Дел Итальянской Республики,

с удовлетворением отмечая успешное развитие отношений, существующих между двумя странами, и взаимное намерение развивать их в научной области,

принимая во внимание заинтересованность двух сторон в расширении уже существующего научного сотрудничества и, в частности, в области астрофизики и исследования нейтрино,

отмечая, что важность данных областей исследований обусловливает необходимость достижения соответствующих соглашений между компетентными ведомствами,

выражают намерение как можно скорее заключить соглашения о сотрудничестве в вышеуказанных областях, которые предусматривали бы, в частности, обмены специалистами, научной аппаратурой и научной информацией.

Совершено в Риме 25 января 1979 года в двух экземплярах, каждый на русском и итальянском языках, причем оба текста имеют одинаковую силу.

За Советскую Сторону

За Итальянскую Сторону

Прилагаемая предварительная смета, уточняющая обяз
и этапы выполнения элементов программы совместных р

Наименование тем	Сотрудничающие страны	Мин-ва, ведомства	организации	руб
I. Разработка и конструирование сцинтилляционных	СССР	АН СССР		
2. Прое онно				
3. Разр гистр них ние опыт				
4. Разр перен разц				
5. Испы разц систе				
6. Изго ние детек				
7. Изго ной				
8. Изго регис трин				
9. Обор ного Обор поме дете				
IO. Разр тисов ние опытных образцов				

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ПРОТОКОЛ

к Соглашению о научном сотрудничестве между Академией наук СССР и Национальным советом исследований, Национальной Академией дей Лин Национальным институтом ядерной физики Итали от 15 июня 1976 года

Академия наук Союза Советских Социалистич и Национальный совет исследований Итальянской Р нейшем именуемые сторонами, в соответствии с дей нием и Перспективной программой развития научно сотрудничества между СССР и Италией на 10-летни лись о нижеследующем

Статья 1

Академия наук СССР и Национальный совет Итальянской Республики будут проводить совмес в области нейтринной астрофизики и физики кос базе уникальных детекторов ядерного излучения

Статья 2

Сотрудничество между сторонами в рамках кола будет иметь целью фундаментальные исслед нейтринной астрофизики для изучения ядерных п тике, а также в области физики элементарных ч осуществляться Институтом ядерных исследовани СССР и Лабораторией космогеофизики Национальн ваний Италии при помощи подземных эксперимент сооружаемых Институтом в СССР и Лабораторией

Настоящий Протокол вступает в силу в день его подписания и будет действовать до 1986 года.

После указанной даты Протокол будет автоматически продлеваться на последующие годовые периоды, если ни одна из сторон не заявит о своем желании прекратить его действие путем извещения за шесть месяцев до истечения соответствующего срока.

Совершено в Москве 25 октября 1979 года в двух экземплярах, каждый на русском и итальянском языках, причем оба текста имеют одинаковую силу.

За Академию наук Союза Советских Социалистических Республик

За Национальный Совет исследований Итальянской Республики

Intergovernmental agreement signed on the Russian side by Ministry of USSR Foreign Affairs Mr. Gromyko and the Ministry of Foreign Affairs of Italy in 1979.

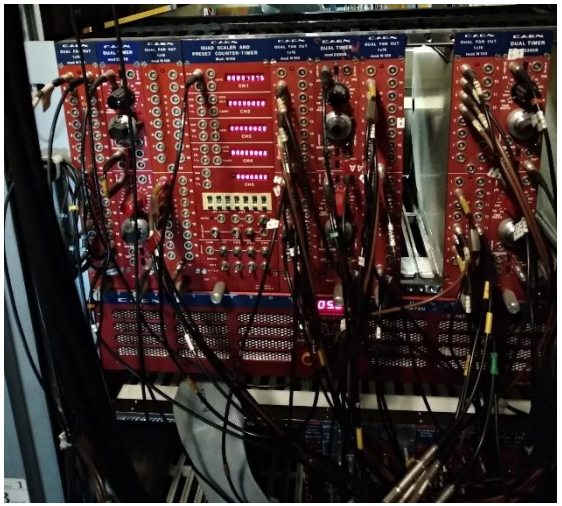
Development + Delivery + Installing LSD under Mont Blanc

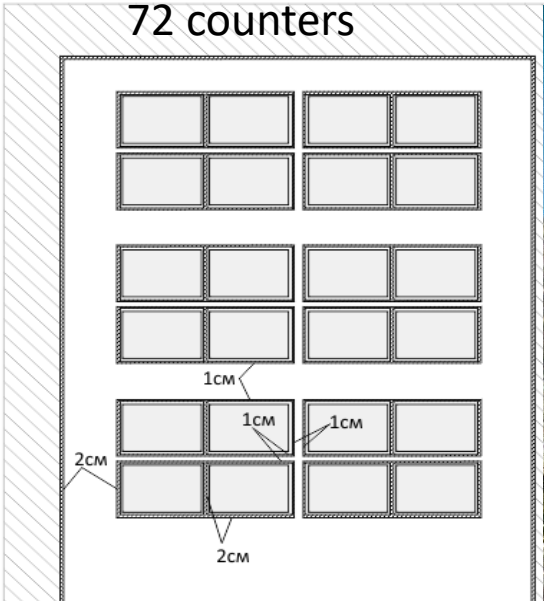
Russian side

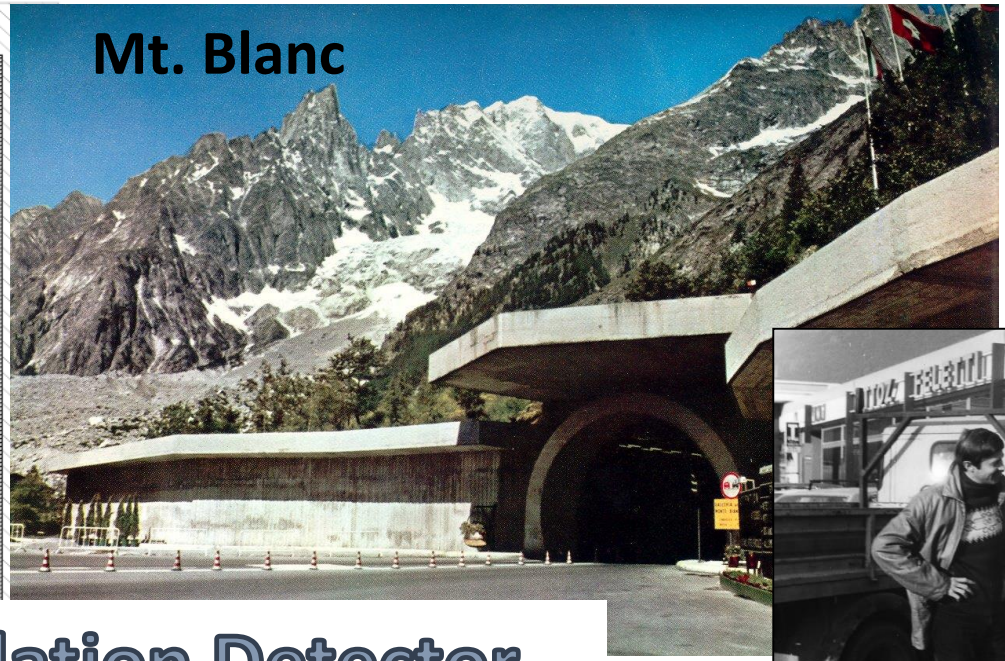
1. Liquid Scintillator C_nH_{2n}
2. Stainless steel Counters
3. Photomultipliers with dividers
4. Cover transportation expanses

Italian side

1. Portatanks
2. Electronics
3. Software







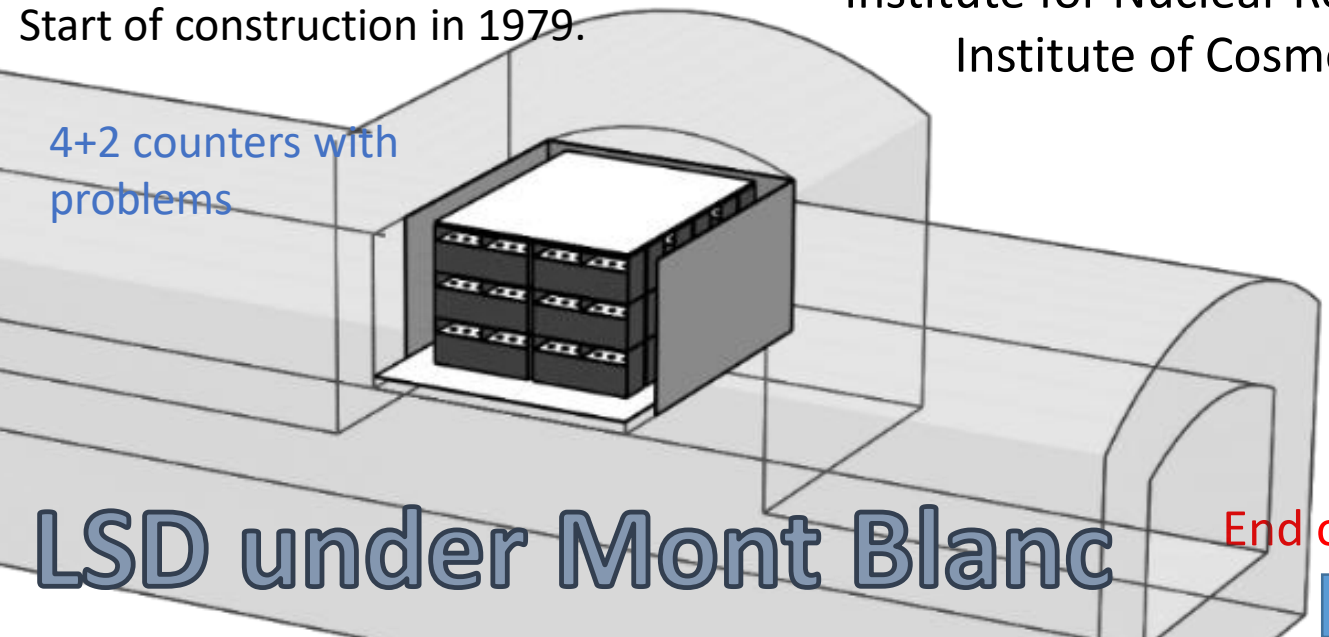
Counters were loaded into trucks in Moscow.
In Italy we checked the counter before installing them in detector

Liquid Scintillation Detector

Started working in 1984.

Start of construction in 1979.

Institute for Nuclear Research USSR, Acad. of Sci.
Institute of Cosmo Geophysics of CNR, Italia



4+2 counters with problems

Depth = 5200 m w.e.
72 counters ($1\times1\times1.5$ m^3),
90 t of scintillator,
200 t of iron,

Start of data taking– 1984
End of experiment (fire)- 1998

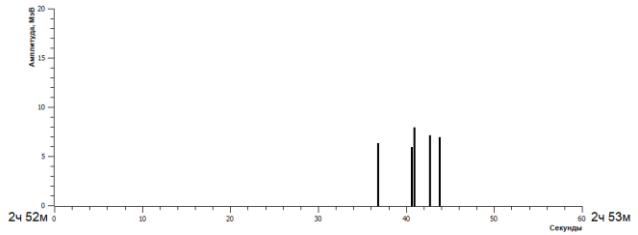
Temperature regime: 0-30

LSD under Mont Blanc

Events detected by LSD February,23, 1987

SN1987A

# of event	Time, UT±2ms	Energy, MeV
1	2:52:36,79	6,2
2	40,65	5,8
3	41,01	7,8
4	42,70	7,0
5	43,80	6,8
1	7:36:00,54	8
2	7:36:18,88	9



Main reaction: $\bar{\nu}_e\, p \rightarrow n\, e^+$

$n\, p \rightarrow d\, \gamma.$

TELEX ETELEX TELEX ETELEX TELEX ETELEX TELEX ETELEX

0025+
B257103206842
NA
0025+
B257103206842+
~~28702 14:37~~
ASTROGRAM CAM
*
224379 COSMOT

TO DIRECTOR

IN THE MONT BLANC NEUTRINO OBSERVATORY ~~A SIGNAL HAS BEEN DETECTED~~ ON FEB.23RD AT 2:58 UT. THE NEUTRINO TELESCOPE, RUNNING SINCE OCT. 1984, AT 5000 M.W.E. UNDERGROUND, IN COLLABORATION BETWEEN OUR ISTITUTO DI COSMOGEOFISICA CNR, TORINO (ITALY) AND ACADEMY OF SCIENCES OF USSR MOSCOW (ZATSEPIN GROUP), CONSISTS OF 90 TONS OF LIQUID SCINTILLATOR IN 72 COUNTERS SHIELDED WITH 200 TONS OF FE SLABS.
THE RECORDED SIGNAL IS MADE BY 5 PULSES, ABOVE THE 7 MEV ENERGY THRESHOLD, DURING 7 SEC. THIS IS IN AGREEMENT WITH THE PREDICTIONS OF COLLAPSING FE-CORES STANDARD MODELS AT 50 KPC FARAWAY, BOTH IN ENERGY AND IN TIME DURATION.
THE PROBABILITY OF A RANDOM COINCIDENCE WITH SUPERNOVA SN 1987 A IS 1 ABOUT EVERY 10000 YEARS.
DETAILS WILL BE SEND SOON BY TELEFAX (PLEASE, LET US KNOW YOUR NUMBER).
BEST WISHES

CARLO CASTAGNOLI
DIRECTOR OF ISTITUTO COSMOGEOFISICA
TORINO - ITALY

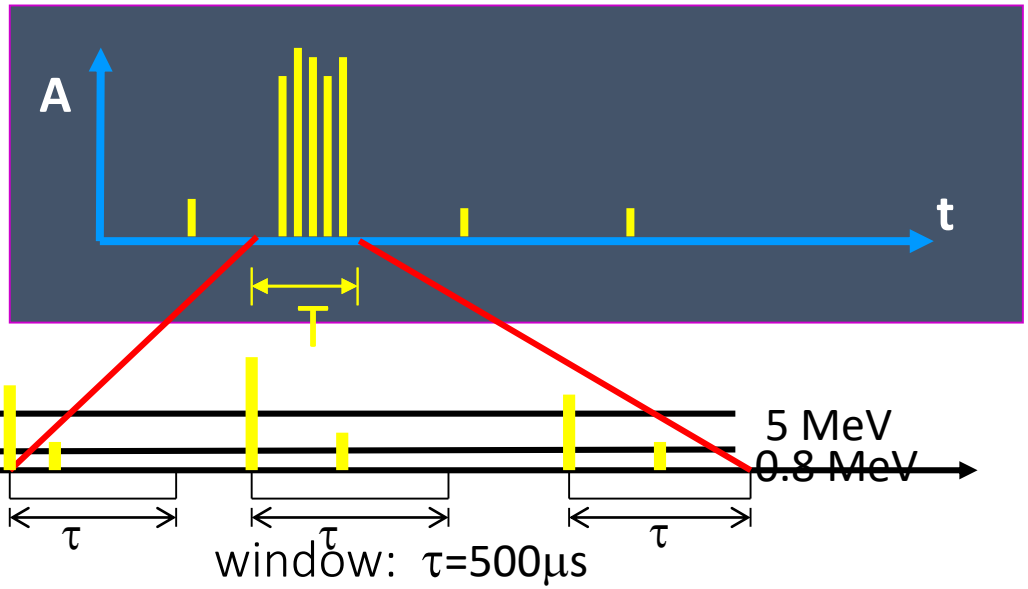
*
ASTROGRAM CAM

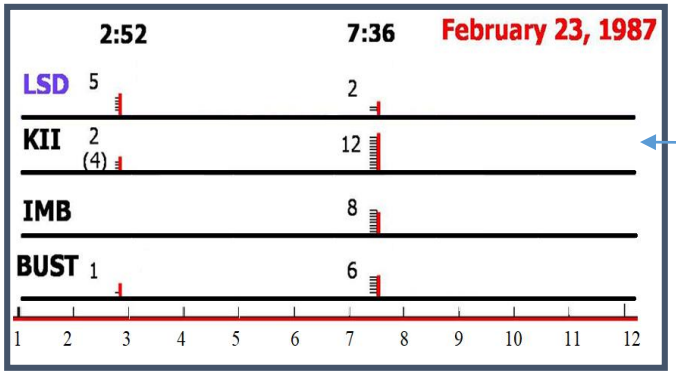
224379 COSMOT IMMMM

Circular No. 4332
I. A. U. - International Astronomical Union
2/28/1987

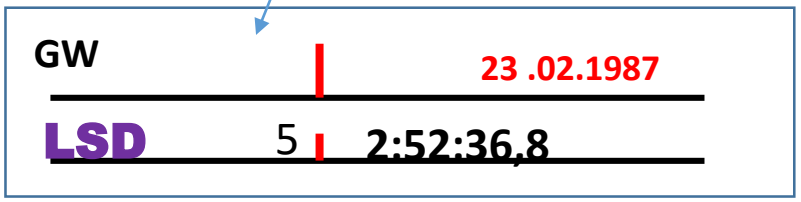
Mysteries of the LSD neutrino signal :

$$\tilde{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n \qquad n + p \rightarrow d + \gamma \qquad n + \mathrm{Fe} \rightarrow \mathrm{Fe} + \Sigma\gamma$$





1. The LSD signal does not look like an antineutrino detection signature: in which trigger pulse must be accompanied by a neutron capture pulse.
2. The coincidence of the LSD signal with the signal of the Gravitational antennas in Rome and Maryland (Weber, USA)
3. Matching the LSD signal with signals of other detectors: KII, IMB, Baksan.



1995

Agreement between INFN - Italy and Russian Ministry of Science

ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ТРЕТЬЕЙ СЕССИИ
СМЕШАННОЙ РОССИЙСКО-ИТАЛЬЯНСКОЙ КОМИССИИ ПО НАУЧНОМУ
ТЕХНИЧЕСКОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ (РИМ, 16-17 октября 2002 г)

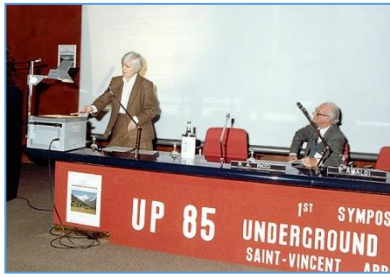
В соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федера
Правительством Итальянской Республики о научном и техническом сотрудниче
от 1 декабря 1995 г. 16 и 17 октября 2002 г. в Риме состоялась третья сессия
Смешанной Российско-Итальянской Комиссии по научному и техническому
сотрудничеству.

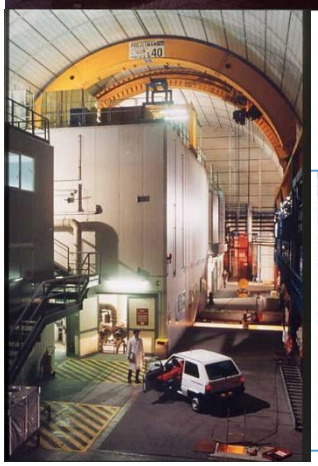
Российскую делегацию возглавлял Первый заместитель Министра
промышленности, науки и технологий Российской Федерации А. Н. Бриндиков.
Итальянскую делегацию возглавлял заместитель начальника Главного управления
тр Л. Савойа.

Подписано в Риме 17 октября 2002 года в двух экземплярах на русском и на итальянском языках, причем оба текста имеют одинаковую силу.

За Российскую сторону

За Итальянскую сторону





CONVENZIONE

tra l`Istituto Nazionale di Fisica Nucleare italiano

e

nistero dell`Istruzione e della Scienza della Federazione russa

degli studiosi e specialisti russi impegnati nei progetti dei Laboratori

nali del Gran Sasso dell`Istituto Nazionale di Fisica Nucleare

in avanti denominato

di Fisica Nucleare Prof.

ienza della Federazione

rsona del Vice Ministro

ssa Povalko Alexandr

l 20 dicembre 2012, da

lella Repubblica Italiana

orazione Scientifica e

СОГЛАШЕНИЕ

МЕЖДУ ПРАВИТЕЛЬСТВОМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ПРАВИТЕЛЬСТВОМ ИТАЛЬЯНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ О НАУЧНОМ И ТЕХНИЧЕСКОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Правительство Российской Федерации и Правительство Итальянской Республики, именуемые в дальнейшем Сторонами,

убежденные в том, что научное и техническое сотрудничество составляет одну из важнейших основ двусторонних отношений и является важным элементом их стабильности,

принимая во внимание накопленный положительный опыт развития научно-технических связей, существующих между двумя странами, и

ний и

Сторон.

Совершено в Риме "01" декабря 1995 года в двух экземплярах, каждый на русском и итальянском языках, причем оба текста имеют одинаковую силу.

За Правительство Российской Федерации

За Правительство Итальянской Республики

nte Convenzione e` redatta in duplice originale, ognuna in lingua

russa, ambedue i testi facenti ugualmente fede.

Il Ministero
dell`Istruzione e della Scienza
della Federazione Russa

26 GIU. 2013
L`Istituto
Nazionale di Fisica Nucleare

ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE
IL PRESIDENTE
(Prof. Fernando Ferroni)

In 1985, the experimental program for Gran Sasso Laboratory was already under discussion. At that time, the construction of Large-scale detectors were being developed

- for searching of neutrino from collapsing stars,
- for muon physics,
- for searching of monopole.

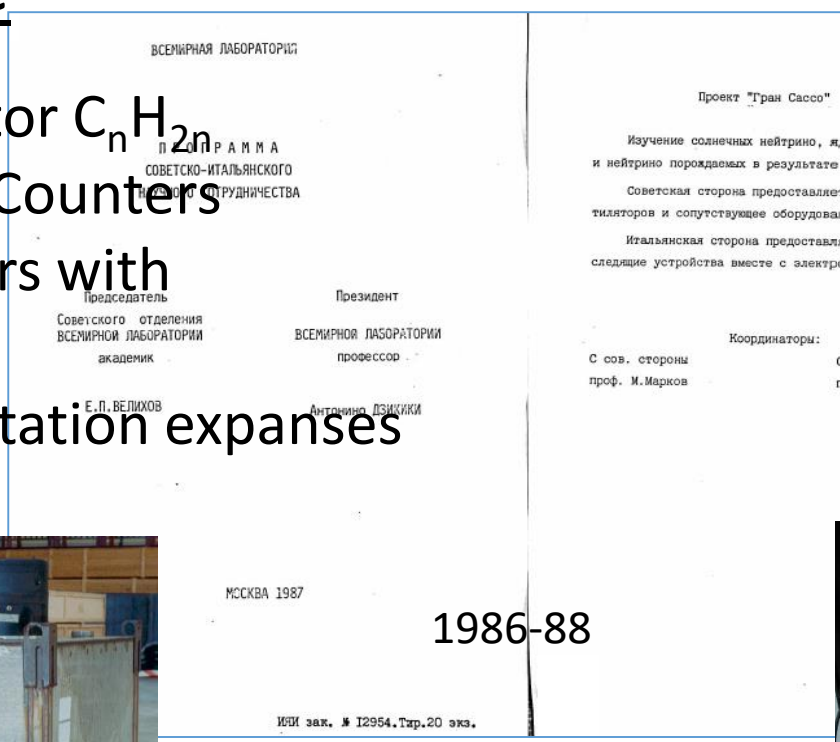
Development + Delivery + Installing for new detector - LVD

Russian side

1. Liquid Scintillator C_nH_{2n}
2. Stainless steel Counters
3. Photomultipliers with equipment
4. Cover transportation expanses

Italian side

1. Portatanks
2. Electronics
3. Software



ВСЕМИРНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

ПРОГРАММА
СОВЕТСКО-ИТАЛЬЯНСКОГО
[illegible] СОТРУДНИЧЕСТВА

Председатель
Советского отделения
ВСЕМИРНОЙ ЛАБОРАТОРИИ
академик
Е.П.ВЕЛИХОВ

Президент
ВСЕМИРНОЙ ЛАБОРАТОРИИ
профессор
Антонино ДЗИКИКИ

МОСКВА 1987

ИЯИ зак. № 12954.Тир.20 экз.

Проект "Гран Сассо"

Изучение солнечных нейтрино, ядерной стабильности мат
и нейтрино порождаемых в результате коллапса звезд.

Советская сторона предоставляет 4000 тонн жидкостных
тиляторов и сопутствующее оборудование.

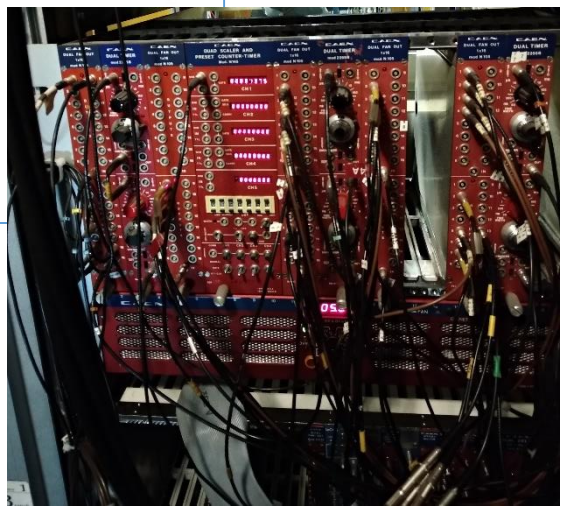
Итальянская сторона предоставляет тяжелые конструкции
следящие устройства вместе с электронной логикой.

Координаторы:

С сов. стороны
проф. М.Марков

С итал. стороны
проф. А.Дзикики

1986-88



640 counters → 10-12 counters per truck (~60 trucks) + 2520 PM + Boxes (2 trucks) → 2 days is duration for truck to rich GS from Moscow.

7% of total counters had a scintillator leak

8 % of the counters had broken film (mylar) inside the counter

Additional 200 - Italian In 90-s – hard time in RF

- counters were welded (at scintillator inside);

  Сварка производилась при заполненном сцинтиллятором счетчике

- to repair the film, the Mylar was replaced inside the counter (through the window for the PMT). To do this scintillator was avoid from counter and put again after reparation, than the scintillator was bubbled with Argon.

LVD – Large Volume Detector

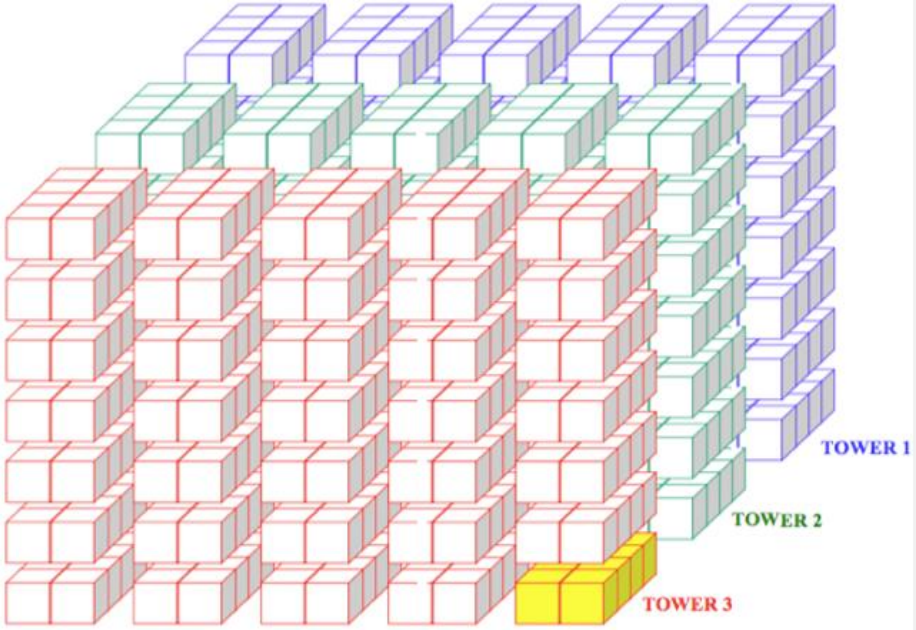
The main goal of LVD is searching for neutrino radiation from stellar core collapse.

The coordinates of the LNGS: 13.5333 E, 42.4275 N.

Length ×Width ×Height	22.7×13.2×10 m
Iron mass	1020 t
Scintillator mass	1008 t
Amount of scintillation counters	840
Average depth minimal	3650 m w.e. 3000 m w.e.
Start of build	1990
End of build	2002

The Large Volume Detector

- modular liquid scintillator detector made by 840 stainless steel 1.5m^3 counters arranged in 3 identical towers
- each counter is viewed by 3 PMTs (3-fold coincidence).
- each TOWER is fully independent and can run all alone.



Main features:

Liquid Scintillator: C_nH_{2n+2} <n>=9.6 + 1g/l PPO + 0.03g/l POPOP, ρ=0.8 g/cm^3 **total 1 kt**

840 stainless steel, 1.5 m^3, counters

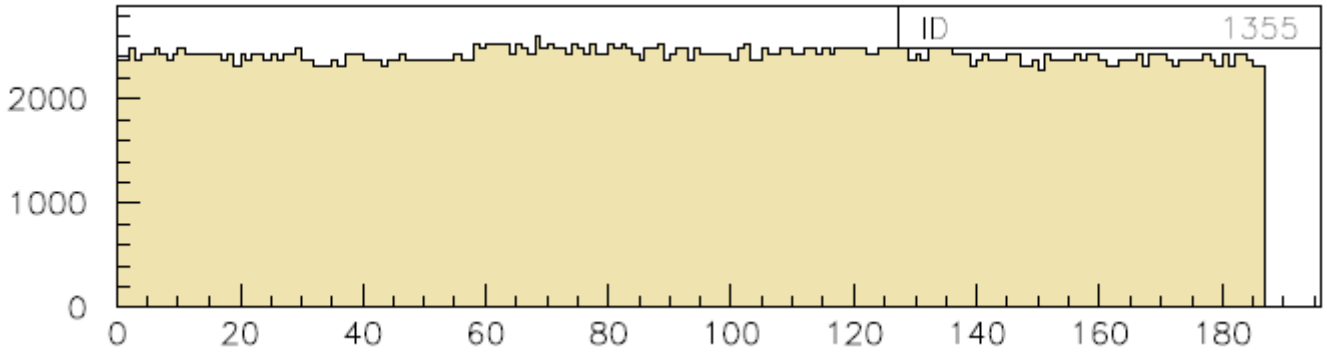
(FEU49b or FEU125) 15 cm diameter **2520 PMTs**

105 portatanks total mass of iron is 1.1 kt

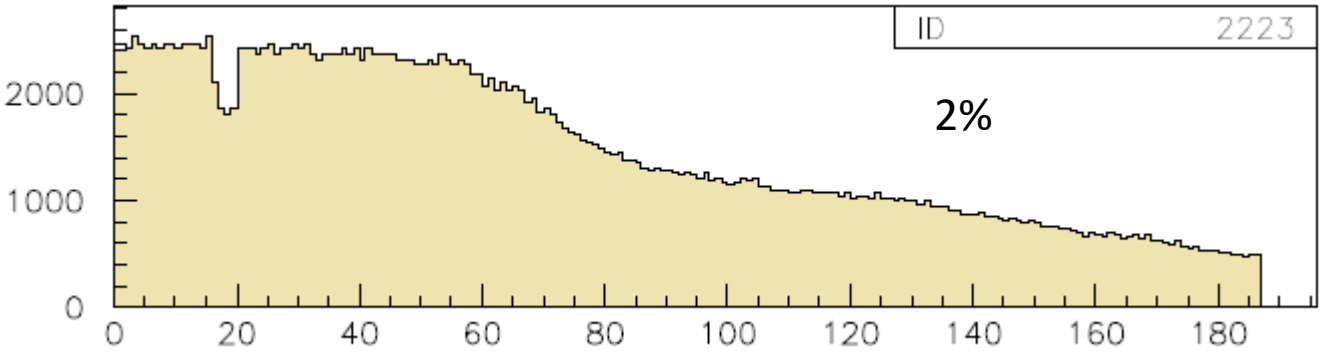
LVD scintillator

Values of the calibration coefficient for the month of operation of the counter

The calibration coefficient is proportional to the scintillator light output



GOOD COUNTER



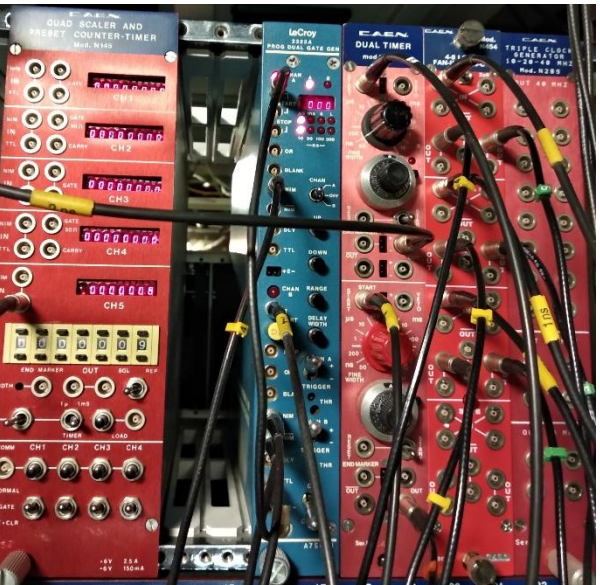
Light output of scintillator degenerate = calibration coefficient of automatic calibration changes smoothly

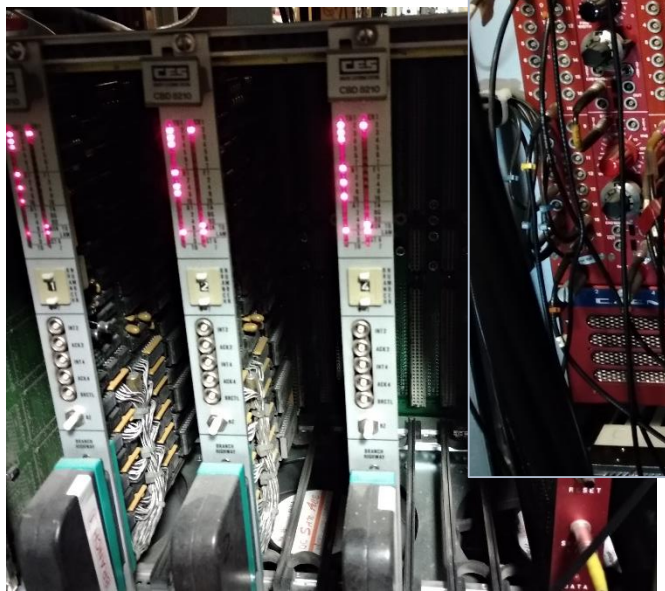
LVD Electronics

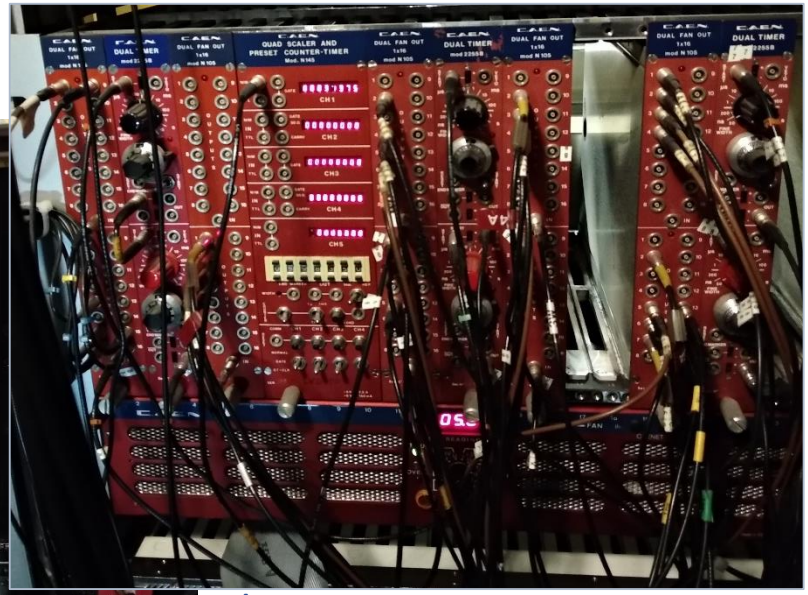
1. Universal multichannel power supply system – CAEN Mod.527
2. High voltage power supply – CAEN Mod.PS35-100 – 3.5 kV – 100 mA - 3 pieces
3. Dual power supply CAEN Mod. 584 – 6 pieces

4. MODEL C 111 – CAMAC Controller interface
5. MODEL C 176 – 8 Fold Fast Charge and Time Digitizer ~106pieces
6. MODEL C 175 – 8 Fold 3ch double threshold discriminator ~105pieces

7. HV divider for photomultiplier tube – CAEN Mod.S4170, 64 ch, programmable 2520 pieces
8. CAEN Quad scaler and preset counter timer Mod.145 – 1pieces
9. CAEN Dual FAN OUT Mod.105 – 4 pieces
10. CAEN Dual timer Mod. 22558 – 2 pieces

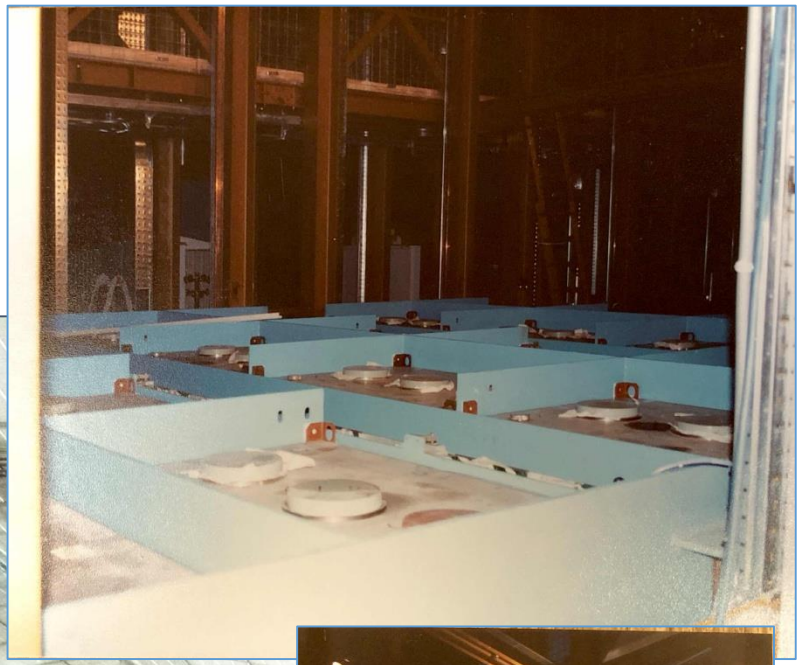


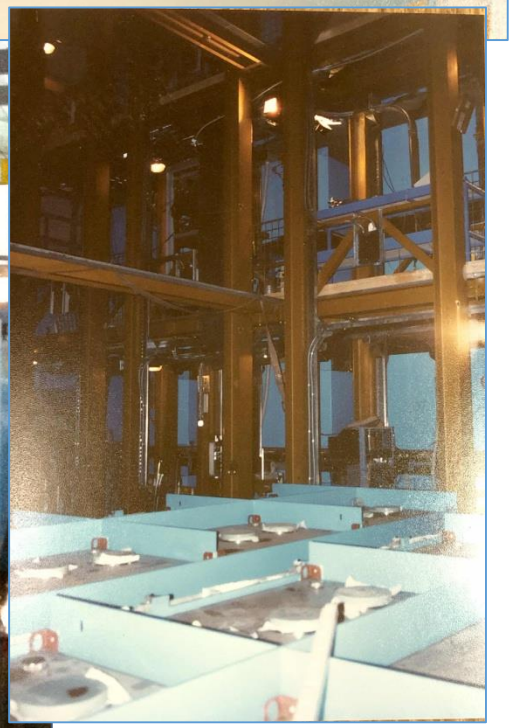




The LVD setup contents 18 racks of electronics

- According to modern concepts, the frequency of collapse in spiral galaxies is once every 30 years.
- The detector was specially built to detect neutrinos.
- We did not have any incident.
- The modular structure LVD allows the repair of individual counters.
- The presence of a large amount of scintillator and iron makes it possible to detect both neutrinos and antineutrinos.
- The LVD science program is not complete.
- We are waiting for the Supernova explosion any day.
- Without LVD and Borexino, in Italy there will be no detector for detecting neutrinos.

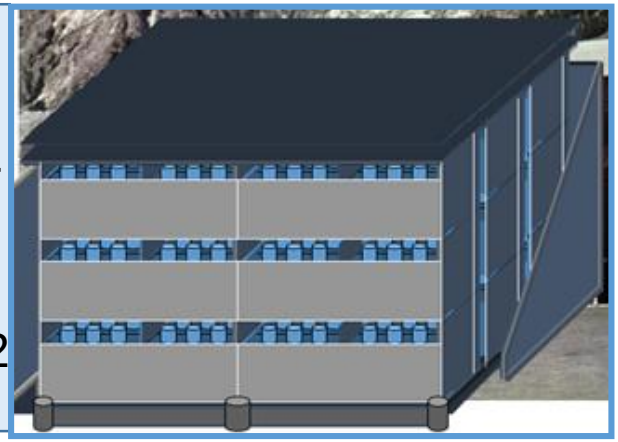




Signals from SN1987A on 23 Feb.1987:

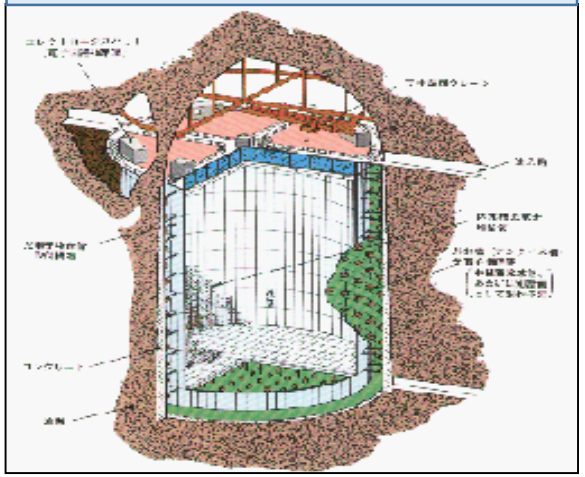
LSD

- 90 tons liquid scintilator
- 220 tons Fe
- threshold ~ 5 MeV
- 5 events in 7 sec – 2:52
- 2 ev. In 18 sec. – 7:36



Kamioka

- water Cerenkov
- 2140 tons fiducial
- threshold ~6 MeV
- 12 events in 12.4 sec.



Baksan

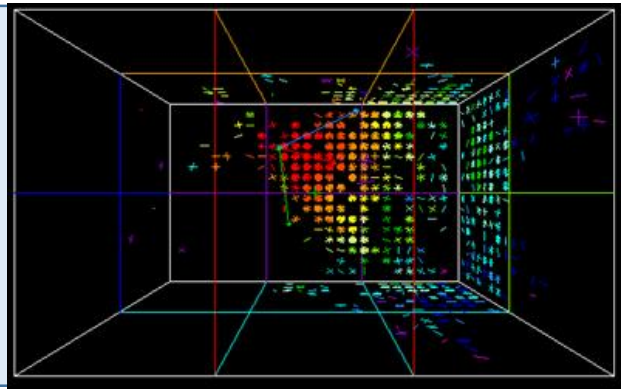
- 330 tons liquid scint
- threshold ~10 MeV
- 5 events in 9.1 sec.

$$\tilde{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$$

IMB,KII, BUST, LSD
detected ν by IBD

IMB

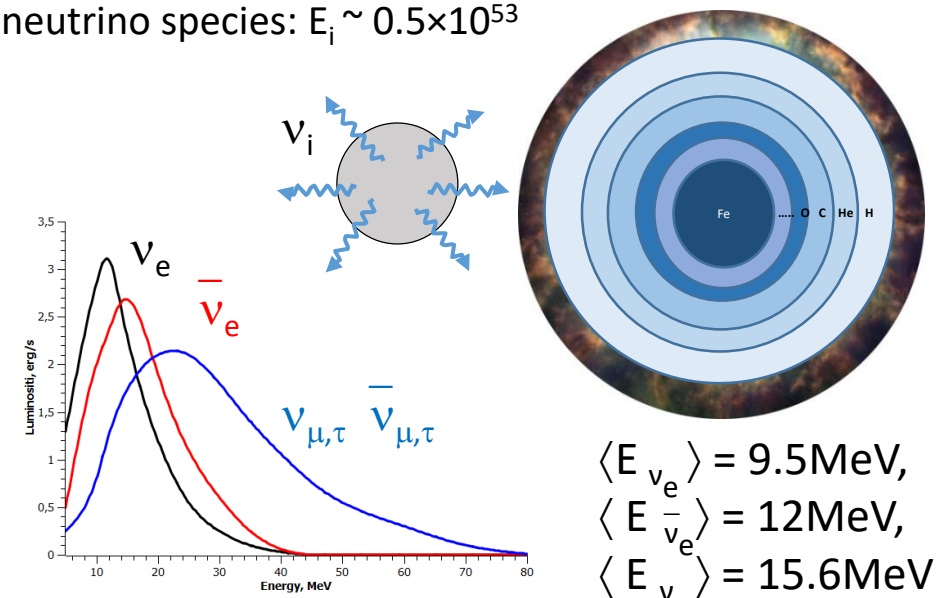
- water Cerenkov
- 5000 tons fiducial
- threshold 20 MeV
- 8 events in 6 seconds



Models of SN explosions:

Standard Collapse Model

The SN outburst is triggered by the gravitational collapse of the "iron" core of a mass $M_{Fe}=1.2\pm2$ M_c into a neutron star. About $(10 \pm 15)\%$ $M_{Fe}c^2$ is radiated in the form of ν and $\bar{\nu}$ of all the flavors (e, μ, τ): $E_{\nu\,\bar{\nu}} = (3 - 5) \times 10^{53}$ erg. The total energy is assumed to be equally distributed among the six neutrino species: $E_i \sim 0.5\times10^{53}$

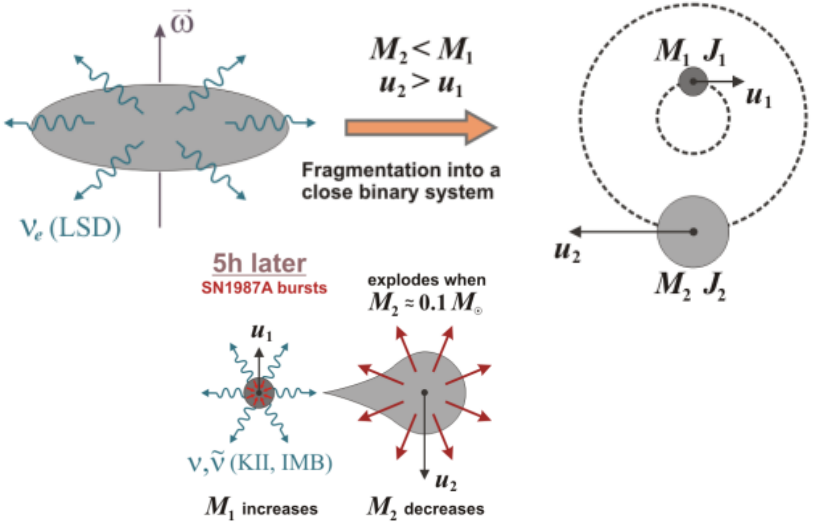


$\langle E_{\nu_e} \rangle = 9.5$MeV,
$\langle E_{\bar{\nu}_e} \rangle = 12$MeV,
$\langle E_{\nu_x} \rangle = 15.6$MeV

Neutrino spectra, 100ms after bounce

Two-stages Collapse Models

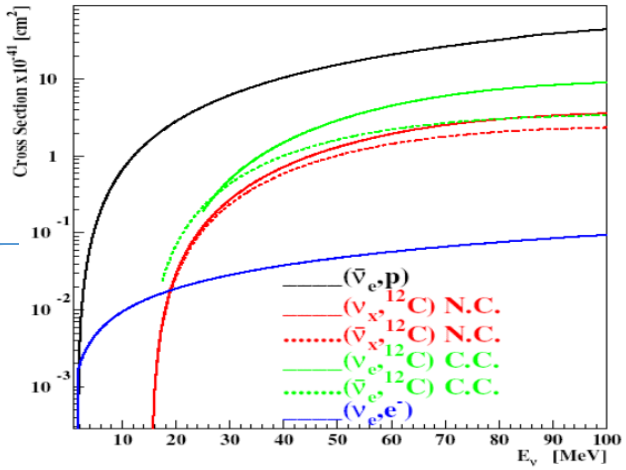
- A. DeRujula (Phys.Lett.B 1987, CERN)
- A. Burrows' group (Arisona); E. Müller, T. Janka (MPA, Garching)
- G.S. Bisnovatyi-Kogan's group (ICR, Keldysh IPM, Moscow)
- V.S. Imshennik (Alikhanov ITEP, Moscow)
- V.S. Berezinsky et al, Nuovo Cimento, Torino

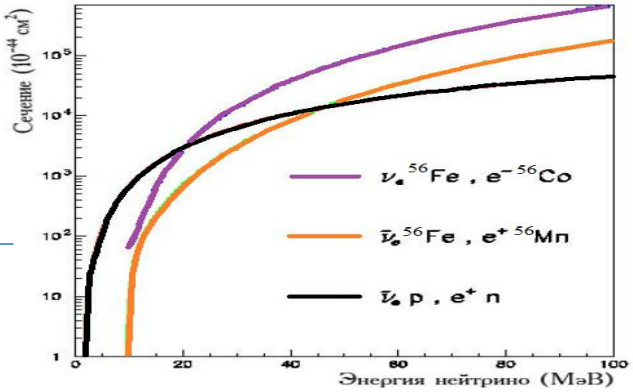


Neutrino interactions in LSD material

The main reaction

$\bar{\nu}_e + p \to e^+ + n$	E_{th} = 1.8 МэВ
$n + p \to d + \gamma$	E_γ = 2.2МэВ
$n + Fe \to Fe + \Sigma\gamma$.	$\langle E_\gamma \rangle \approx$ 7МэВ
$\nu_e + {}^{12}C \to e^- + {}^{12}N$	E_{th} = 17.3 МэВ
${}^{12}N \to {}^{12}C + e^+ + \nu_e$	
$\bar{\nu}_e + {}^{12}C \to e^+ + {}^{12}B$	E_{th} = 14.4 МэВ
${}^{12}B \to {}^{12}C + e^- + \bar{\nu}_e$	
$\nu_i + {}^{12}C \to \nu_i + {}^{12}C^*$	E_{th} = 15.1 МэВ
${}^{12}C^* \to {}^{12}C + \gamma$	E_γ = 15.1 МэВ
${}^{12}C^* \to {}^{11}C + n$	E_n = 8 – 9 МэВ
${}^{12}C^* \to {}^{11}B + p$	E_p = 8 – 9 МэВ
$\nu_i + e^- \to \nu_i + e^-$	-
$\nu_e + {}^{56}Fe \to e^- + {}^{56}Co^*$	E_{th} = 10 МэВ
${}^{56}Co^* \to {}^{56}Co + \Sigma\gamma$	E_γ = 7-11 МэВ
${}^{56}Co^* \to {}^{55}Co + n$	
${}^{56}Co^* \to {}^{55}Fe + p$	
$\bar{\nu}_e + {}^{56}Fe \to e^+ + {}^{56}Mn^*$	E_{th} = 12.5 МэВ
${}^{56}Mn^* \to {}^{56}Mn + \gamma$	
${}^{56}Mn^* \to {}^{55}Mn + n$	
${}^{56}Mn^* \to {}^{55}Cr + p$	
$\nu_i + {}^{56}Fe \to \nu_i + {}^{56}Fe^*$	E_{th} =15.0 МэВ
${}^{56}Fe^* \to {}^{56}Fe + \gamma$	$E_\gamma \approx$ 7.6 МэВ
${}^{56}Fe^* \to {}^{55}Fe + n$	
${}^{56}Fe^* \to {}^{55}Mn + p$	





Recently, Stanly Yen (Sudbury) suggested to take into account the role of surrounding LSD rock.