

**ФИЗИКА
КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ
И РЕДКИХ РАСПАДОВ**

**ИЗУЧЕНИЕ
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
СВОЙСТВ МАТЕРИИ LNGS-INR-
KURCHATOV**

В.А. Матвеев

Соглашение между Правительством СССР и Правительством Италии о научном и техническом сотрудничестве

19 февраля 1974 г.

Правительство Союза Советских Социалистических Республик и Правительство Итальянской Республики, учитывая накопленный положительный опыт развития научно-технического сотрудничества на основе действующего Соглашения об экономическом и научно-техническом сотрудничестве между Правительством Союза Советских Социалистических Республик и Правительством Итальянской Республики, подписанного в Риме **23 апреля 1966 года,**

признавая, что заключение настоящего Соглашения будет содействовать дальнейшему расширению этого сотрудничества, договорились о нижеследующем:

Статья 1

Договаривающиеся Стороны будут способствовать развитию **научно-технического сотрудничества между учреждениями, организациями и фирмами, а также между отдельными учеными обеих стран в различных областях фундаментальных и прикладных исследований** и в области технологии. В этой связи Стороны договариваются уделять особое внимание сфере охраны окружающей среды.

Они будут содействовать, в случае необходимости, заключению специальных соглашений или протоколов по конкретным аспектам сотрудничества.

**Соглашение между Правительством СССР и Правительством Италии о
научном и техническом сотрудничестве**

19 февраля 1974 г.

...

Статья 5

Настоящее Соглашение заключено в дополнение и в развитие Соглашения об экономическом и научно-техническом сотрудничестве между Правительством Союза Советских Социалистических Республик и Правительством Итальянской Республики, подписанного в Риме 23 апреля 1966 года.

Ранее заключенное Соглашение о сотрудничестве в области научных сельскохозяйственных исследований между Правительством Союза Советских Социалистических Республик и Правительством Итальянской Республики, Дополнительный межправительственный протокол к Соглашению об экономическом и научно-техническом сотрудничестве между Правительством Союза Советских Социалистических Республик и Правительством Итальянской Республики, Соглашение между Академией наук СССР — с Советской стороны и Национальным Советом по исследованиям, Национальной Академией деи Линчей, Национальным институтом ядерной физики — с Итальянской стороны, Соглашение между Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР и Итальянским комитетом по ядерной энергии, а также другие Соглашения, которые могут быть заключены в соответствии со статьей 1 настоящего Соглашения, будут осуществляться в рамках настоящего Соглашения.

МЕМОРАНДУМ

о договоренности относительно сотрудничества в области астрофизики и исследования нейтрино

Министр Иностранных Дел Союза Советских Социалистических Республик и
Министр Иностранных Дел Итальянской Республики,

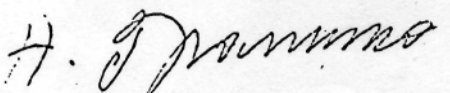
с удовлетворением отмечая успешное развитие отношений, существующих
между двумя странами, и взаимное намерение развивать их в научной
области,

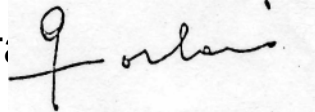
принимая во внимание заинтересованность двух сторон в расширении уже
существующего научного сотрудничества и, в частности, **в области
астрофизики и исследования нейтрино,**

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

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

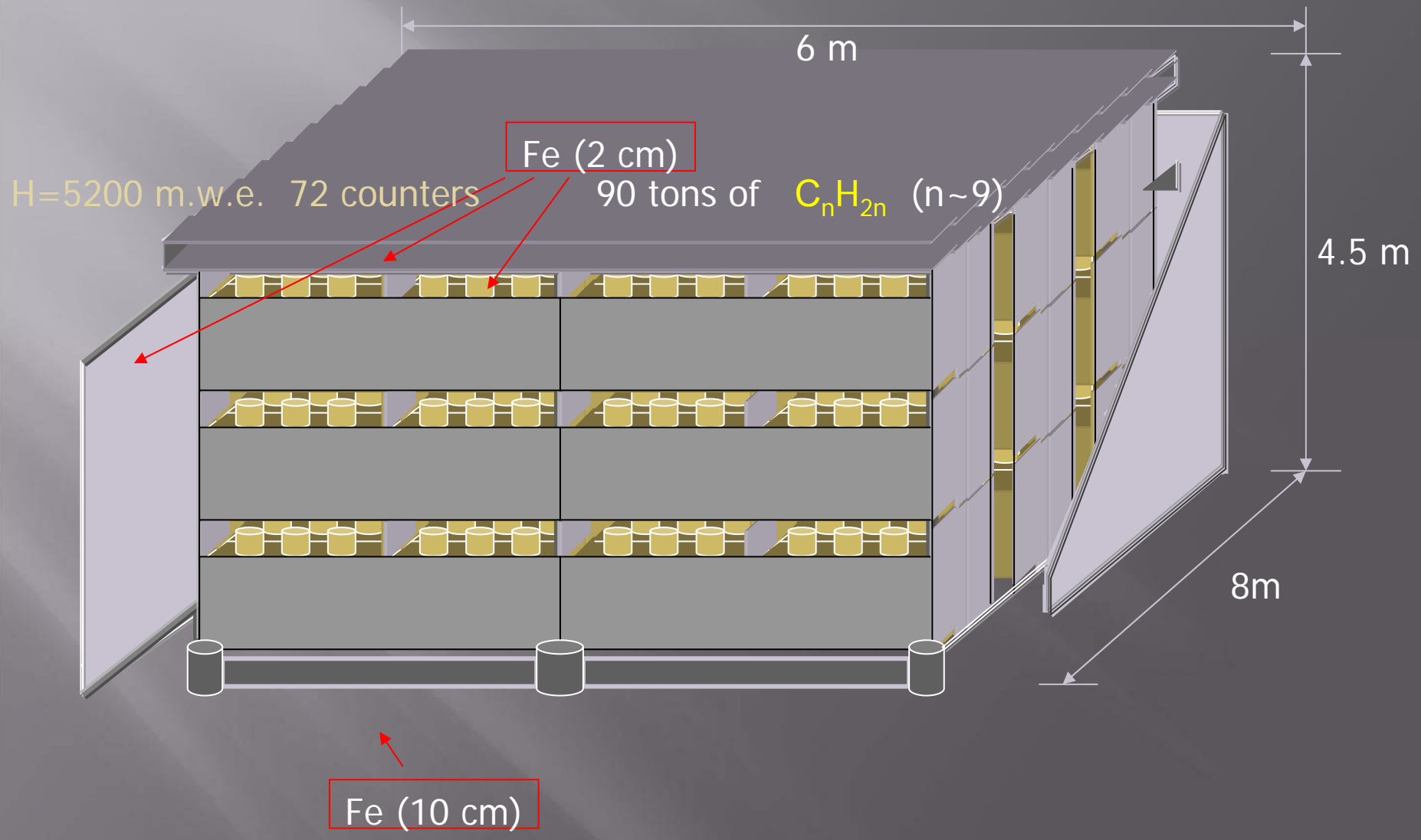
Совершено в Риме 25 января 1979 года в двух экземплярах,
каждый на русском и итальянском языках, причем оба текста имеют
одинаковую силу.

3  у

За Ита:  рону

I. LSD

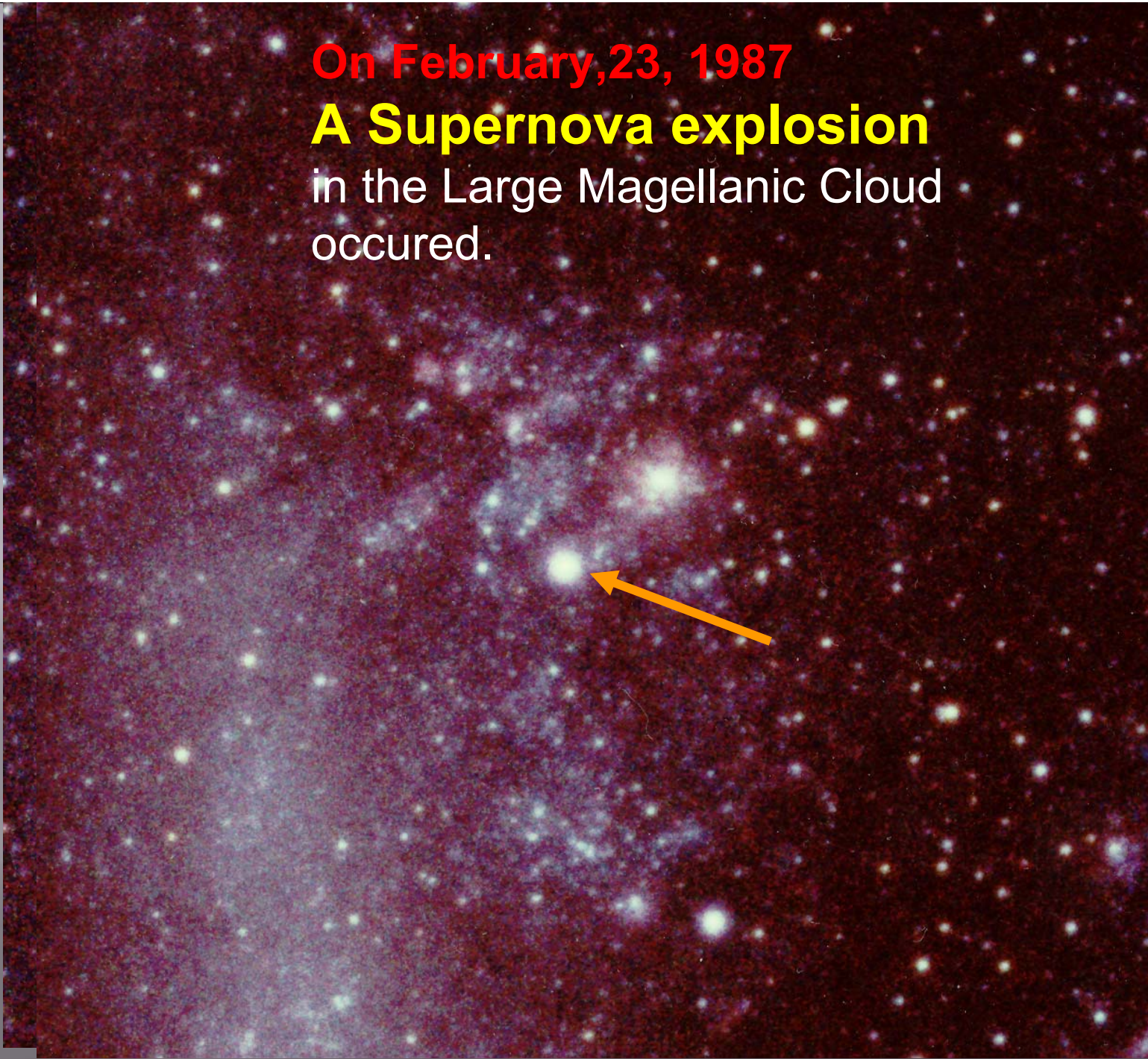
Liquid Scintillator Detector (LSD)



On February, 23, 1987

A Supernova explosion

in the Large Magellanic Cloud
occured.



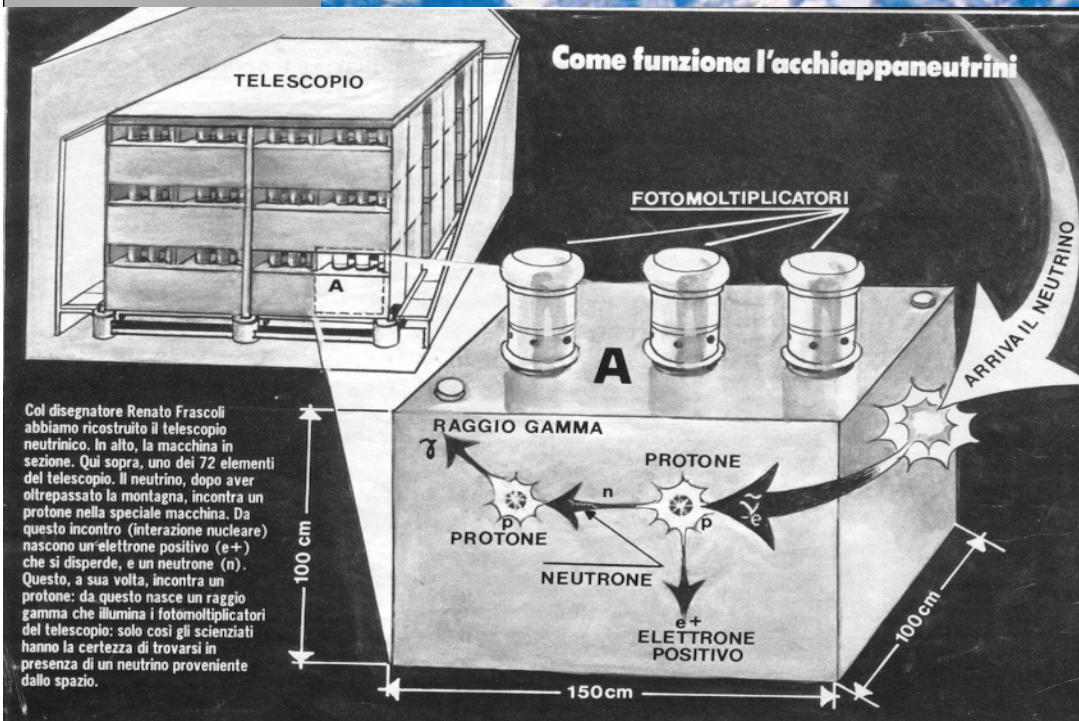
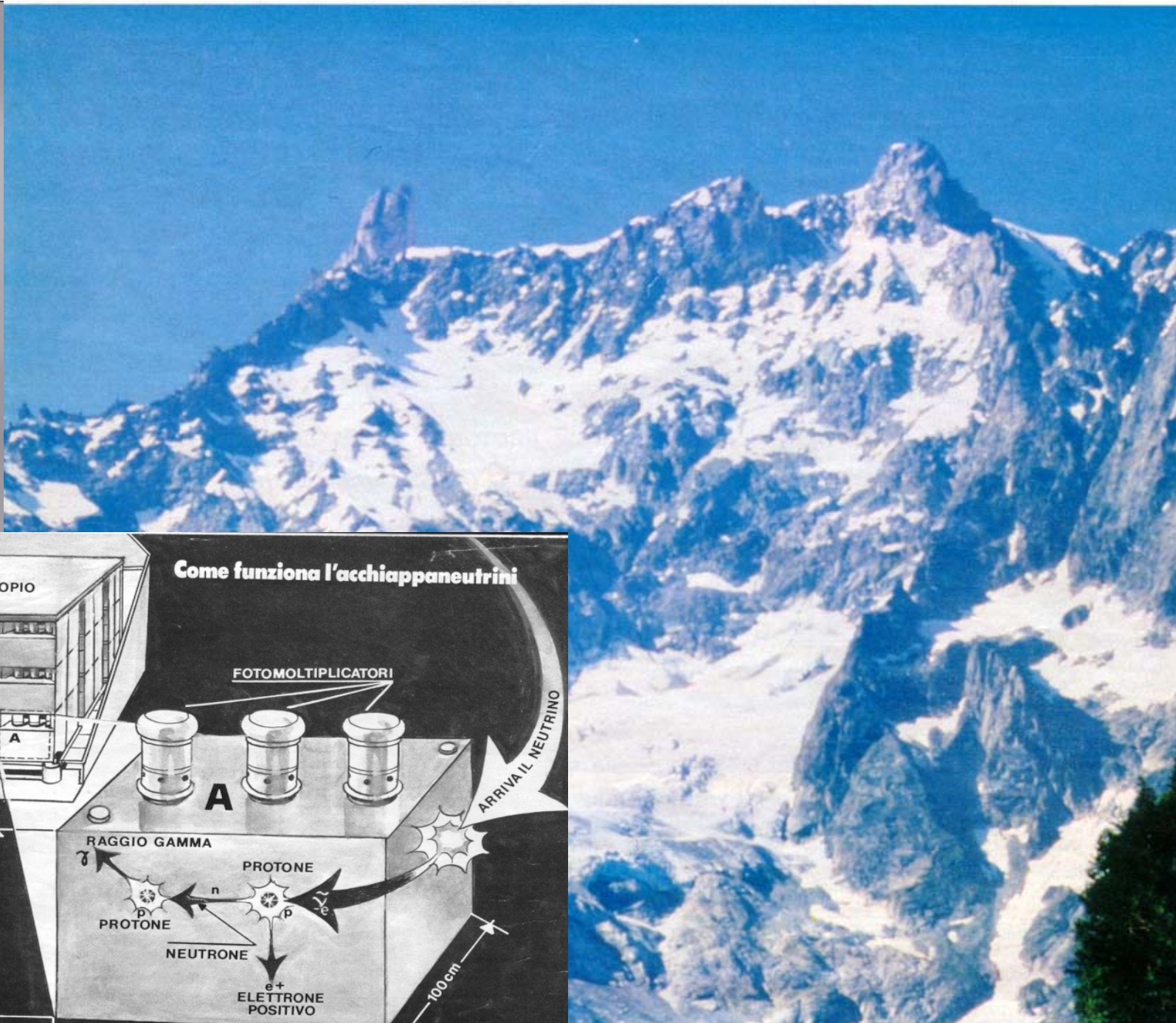
February 23, 1987

2 h 52 min.

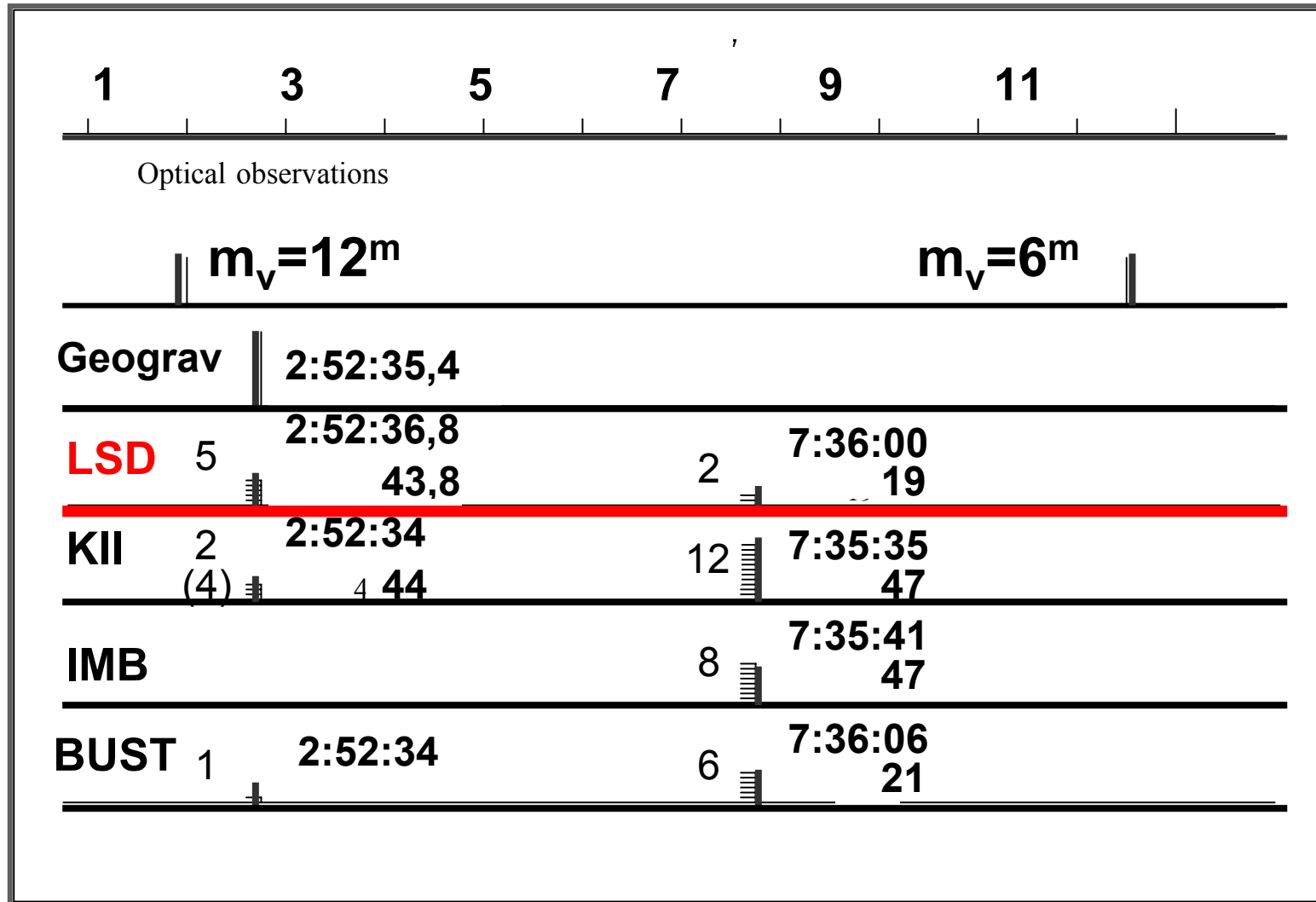
Events, detected by LSD

# of event	Time, UT±2ms	Energy, MeV
1	2:52:36,79	6,2 – 7
2	40,65	5,8 – 8
3	41,01	7,8 – 11
4	42,70	7,0 – 7
5	43,80	6,8 – 9
1	7:36:00,54	8
2	7:36:18,88	9





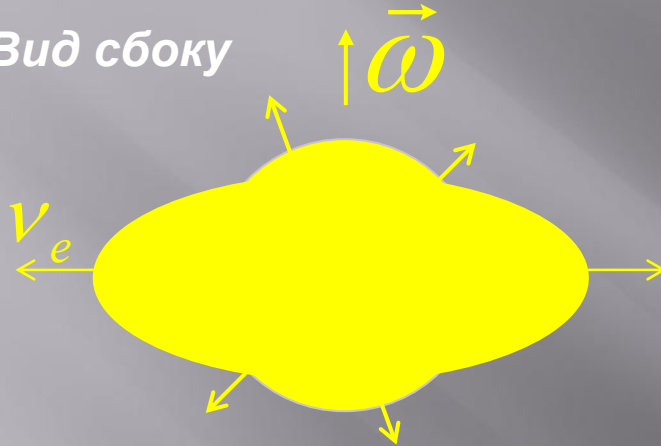
February 23, 1987



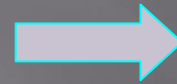
Модель вращающегося коллапсара

[Имшенник В.С., Space Sci Rev, 74, 325 (1995)]

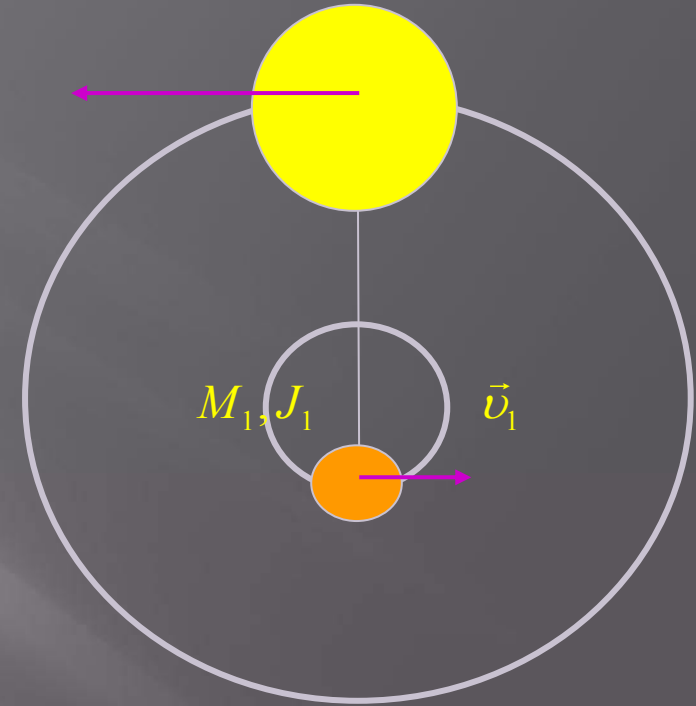
Вид сбоку



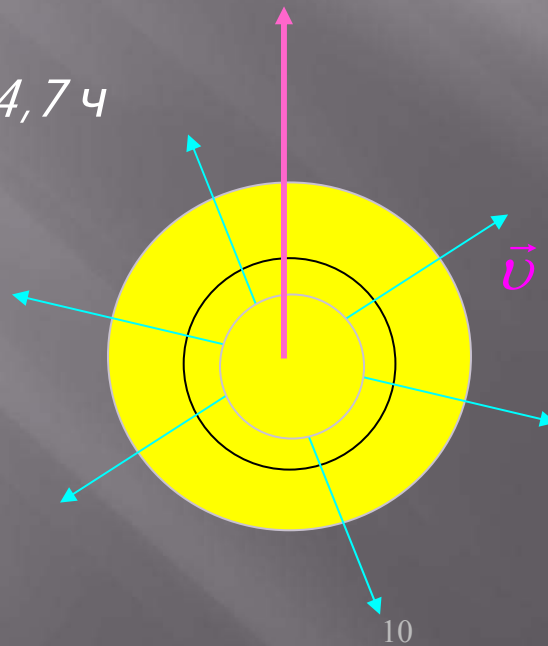
$$M_2 < M_1$$



$$v_2 > v_1$$



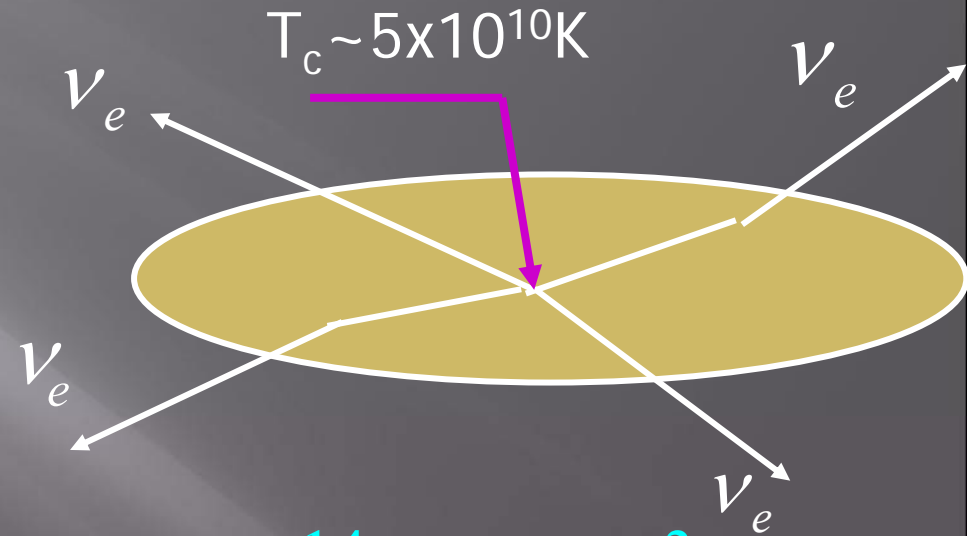
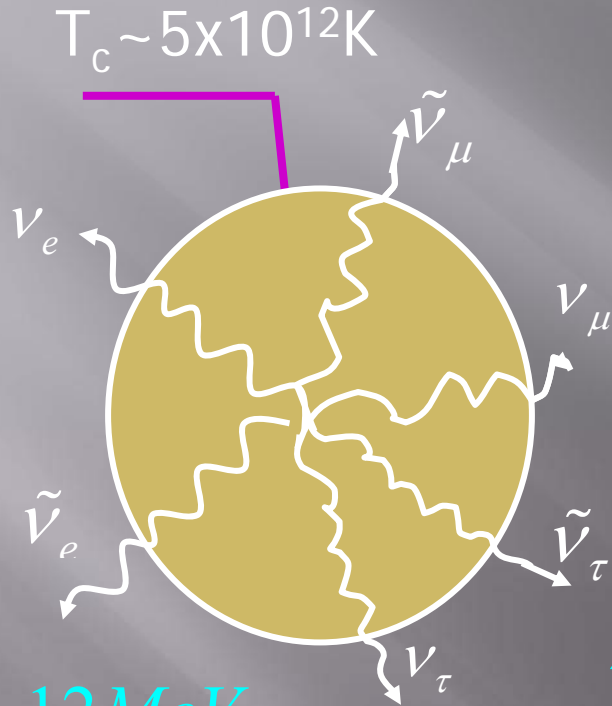
Через 4,7 ч



Вид сверху

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

[Имшенник В.С., Ряжская О.Г., ПАЖ, т. 30, с.17 (2004)]



$$\rho \sim 2.6 \cdot 10^{14} \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$$

Основная реакция - нейтронизация:



$$\bar{E}_{\nu} = (30 - 40) \text{ MeV}$$

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

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

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

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

$$\varepsilon_{\nu, \tilde{\nu}} = 5.3 \cdot 10^{53} \text{ эрг}$$

Detector	Energy threshold	Estimated number of $\nu_e A$ interaction				Estimated Effect $N_2 \cdot \eta$	Exp.
		N_1	N_2	N_3	N_4		
LSD	5 – 7	3.2	5.7	3.5	4.9	3.2	5
KII	7 – 14	0.9	3.1	1.2	2.5	2.7	2*
BUST	10	2.8	5.2			~1	1**

$$E_{\nu_e} = 30 \text{ MeV } (N_1) \quad E_{\nu_e} = 40 \text{ MeV } (N_2)$$

$$f(E_{\nu_e}) \text{ with } \varphi = 5 (N_3)$$

$$f(E_{\nu_e}) \text{ with } \varphi = 7.5 (N_4)$$

$$\varphi = \frac{\mu_e}{kT}$$

$$kT_c = 5.34 \text{ MeV}$$

$$\rho = 2.6 \cdot 10^{14} \text{ g / cm}^3$$

* De Rujula, 1987

** Alexeyev, 1987

II. LVD

✓ The **LVD** (Large Volume Detector) Experiment is carried out in compliance with the **Additional Protocol to the Agreement between the Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Italy, and the Academy of Sciences of the USSR**, signed 16.11.1988, in the framework of the **Agreement on Scientific and Technical Collaboration between the Russian Federation and the Italian Republic**, signed in Rome on December 1st, 1995.

✓ Agreement between Istituto di Cosmo-geofisica del CNR di Torino (ICG-CNR) and Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences (INR RAS) signed in Turin on March 9th, 1993

✓ **ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ТРЕТЬЕЙ СЕССИИ СМЕШАННОЙ РОССИЙСКО-ИТАЛЬЯНСКОЙ КОМИССИИ ПО НАУЧНОМУ И ТЕХНИЧЕСКОМУ СОТРУДНИЧЕСТВУ (РИМ, 16-17 ОКТЯБРЯ 2002 Г.)**

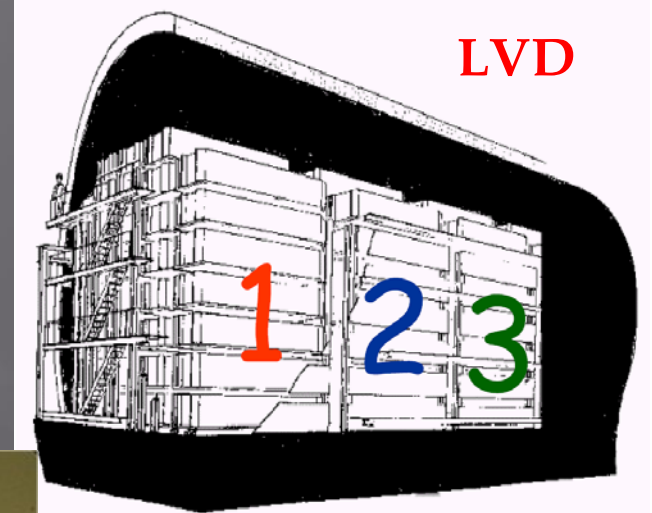
В соответствии с Соглашением между Правительством Российской Федерации и Правительством Итальянской Республики о научном и техническом сотрудничестве от 1 декабря 1995 г. 16 и 17 октября 2002 г. в Риме состоялась третья сессия Смешанной Российско-Итальянской Комиссии по научному и техническому сотрудничеству.

Эксперимент LVD является частью проекта "Изучение фундаментальных свойств материи LNGS-INR-Kurchatov", входящего в перечень

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

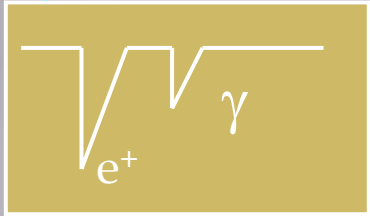
The main goal is to search for ν bursts from collapsing stars



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

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



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

$$\nu_e + {}_{26}^{56}\text{Fe} \rightarrow {}_{27}^{56}\text{Co}^* + e^-, \quad {}_{27}^{56}\text{Co}^* \rightarrow {}_{27}^{56}\text{Co} + \sum \gamma, \quad E_\gamma = 7 \div 11 \text{ MeV}$$

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

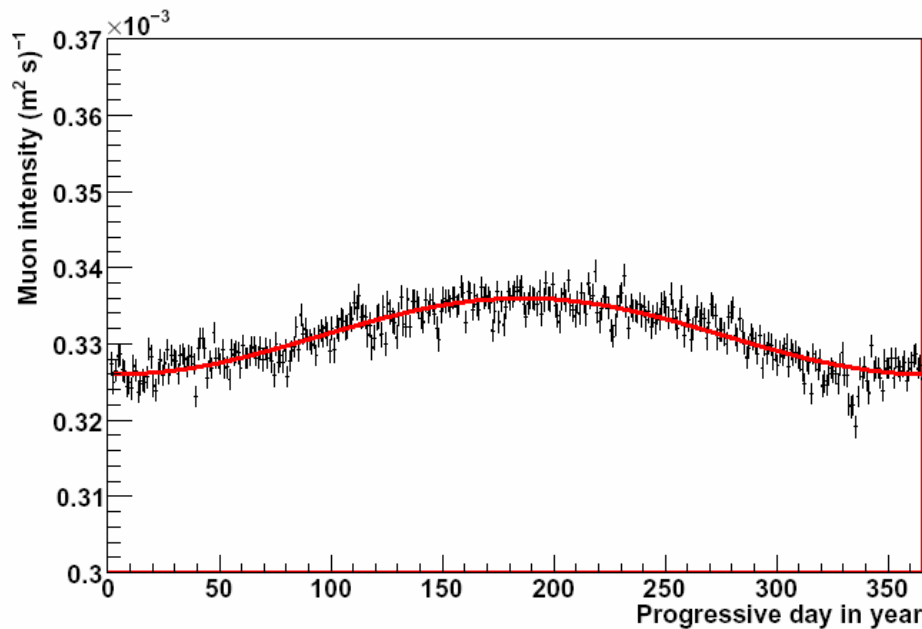
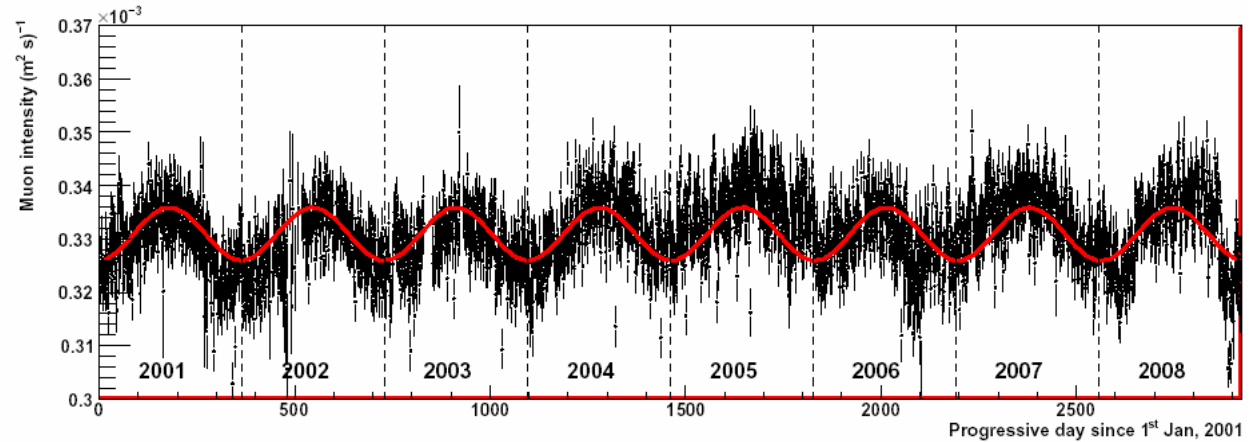
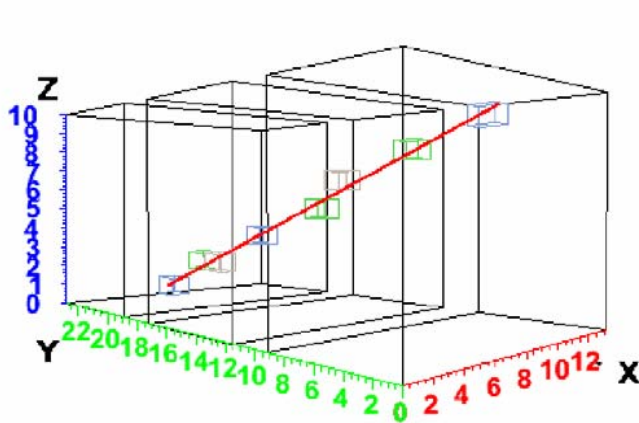
LVD. Результаты-2009

1. Поиск нейтринных всплесков от гравитационного коллапса звезд

По данным работы нейтринных телескопов «Коллапс», LSD и LVD в течение 32 лет получено самое сильное экспериментальное ограничение на частоту нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов звезд в Галактике: менее **1 события в 14 лет на 90% уровне достоверности**, а на частоту нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов звезд, не сопровождающихся сколько-нибудь заметным потоком электронных антинейтрино: **менее 1 события в 4 года на 90% уровне достоверности** (результаты 8-летней непрерывной работы детектора LVD).

LVD. Результаты-2009

2. Вариации потока мюонов космических лучей

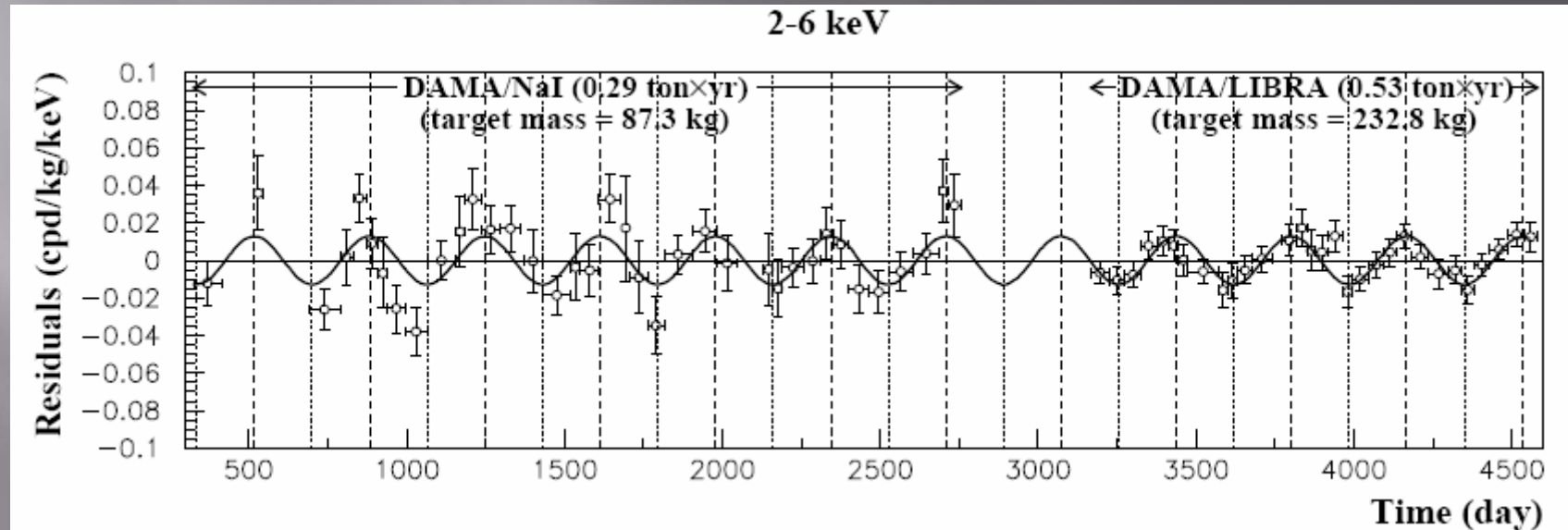


Интенсивность мюонов за 8 лет работы установки LVD. Каждый бин соответствует одному дню (01.01.01 – 31.12.08). Кривая – фит данных по формуле

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

Средняя дневная интенсивность за год («наложение эпох» за 8 лет набора данных)

Существование таких вариаций мюонов на больших глубинах под землей необходимо учитывать при изучении редких процессов, например, таких, как поиск темной материи



The superimposed curves represent the cosinusoidal functions 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.

R. Bernabei et. al., (DAMA Coll.) // arXiv:0804.2741v1 [astro-

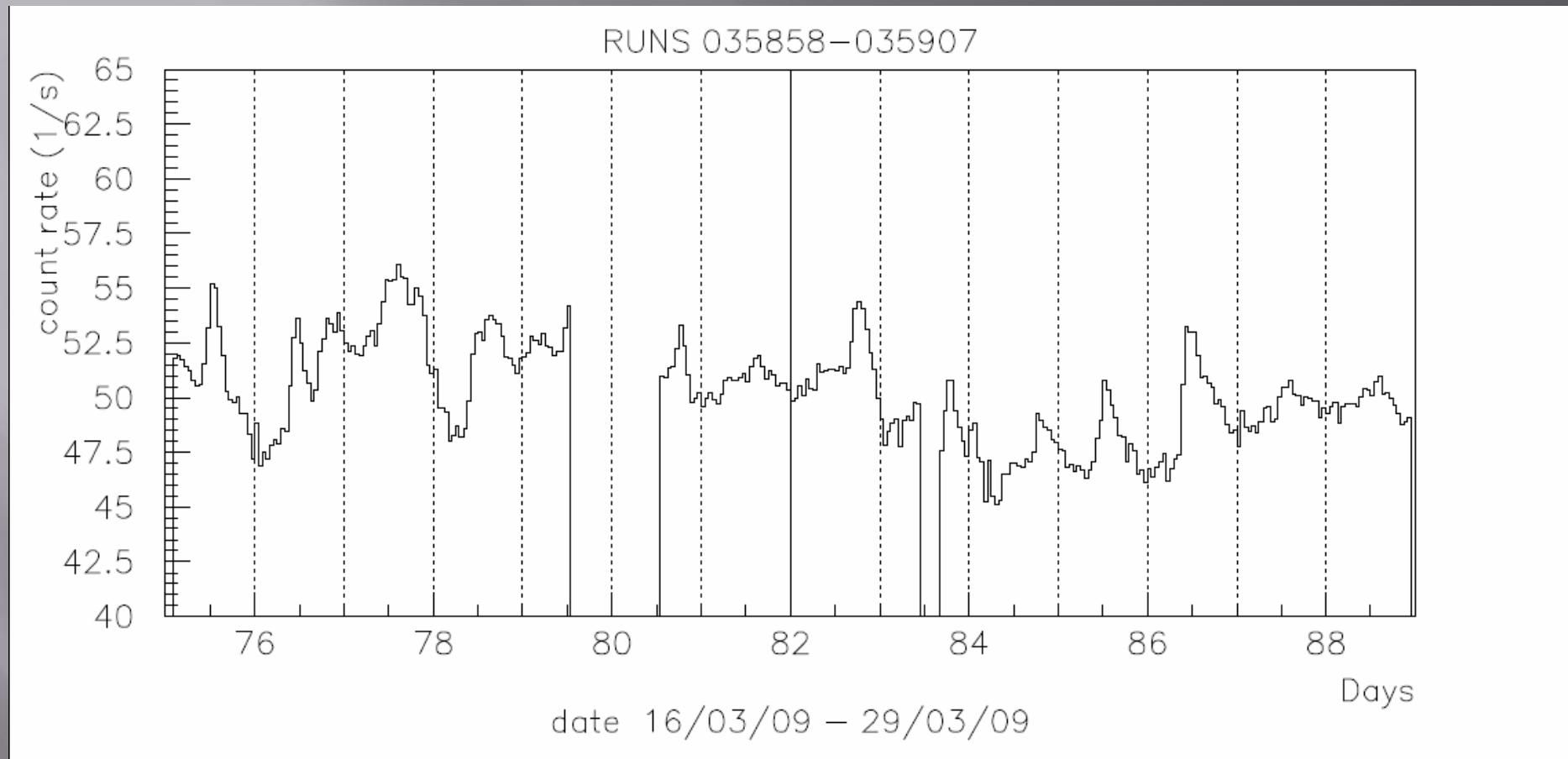
На обоих экспериментах были проанализированы данные за 2008 год в течение времени работы пучка CNGS. Общее живое время для двух экспериментов составило 131.3 дня. Во временном окне 15 мкс было найдено:

- ✓ 145 совпадающих событий связанных с пучком CNGS (события от ускорителя);
- ✓ 38 совпадающих событий во время, когда пучок выключен (атмосферные события). Это мюоны идущие по направлению перпендикулярному к направлению на ЦЕРН.

У первого набора данных ширина временного распределения 10.5 мкс, связанная со временем запуска пучка. Для второго набора (атмосферные мюоны) распределение узкое с пиком на -573.4 наносекунды (время пролета мюоном расстояния, равного 172 метрам).

LVD. Результаты-2009

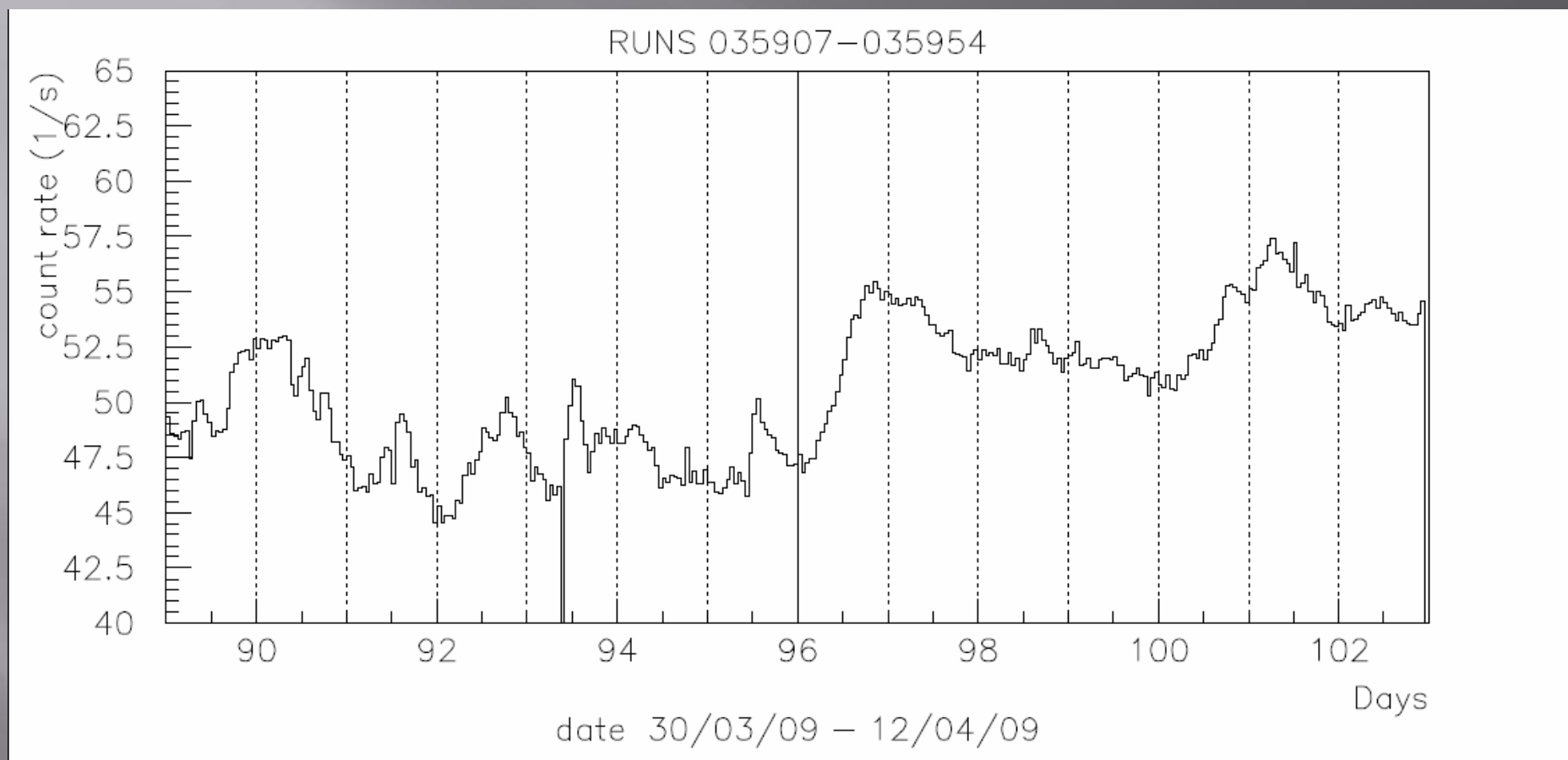
4. Радоновые данные



В течение года на установке LVD продолжался мониторинг концентрации радона под землей. Во время сильного землетрясения в Аквиле в апреле этого года наблюдалось аномальное увеличение темпа счета LVD по низкому порогу, из которого следует, что концентрация радона превышала более чем на порядок среднее значение в радиусе более, чем 15 км от установки

LVD. Результаты-2009

4. Радоновые данные

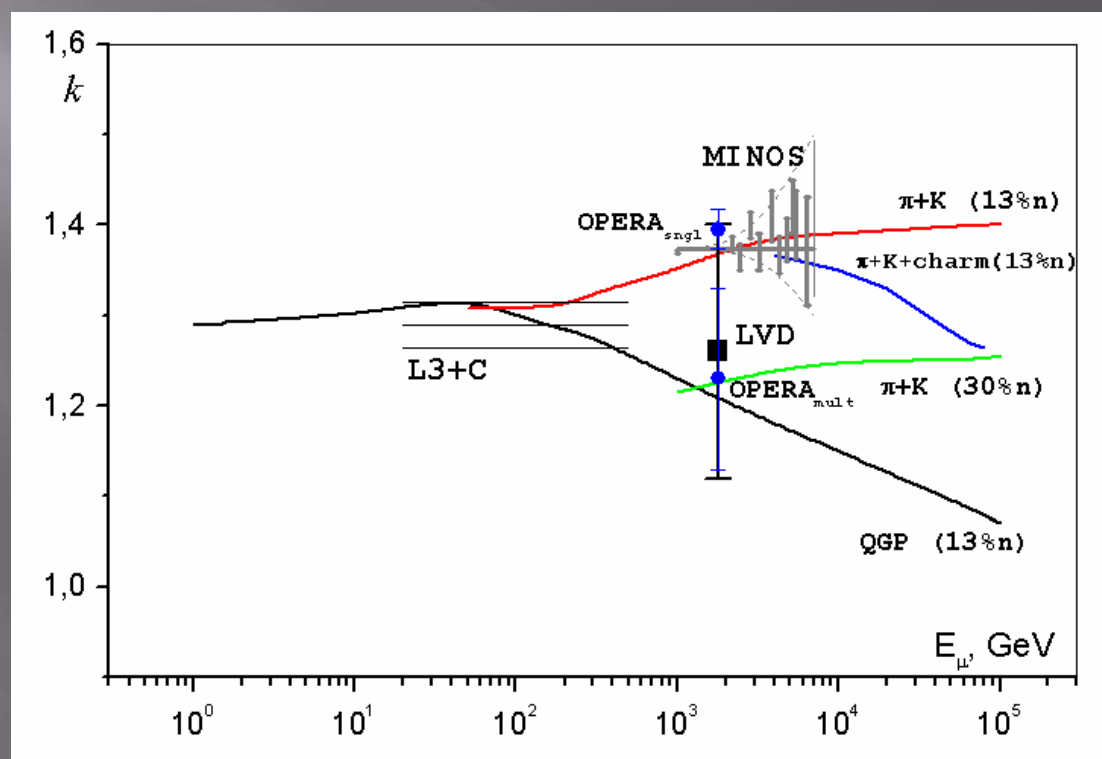


В течение года на установке LVD продолжался мониторинг концентрации радона под землей. Во время сильного землетрясения в Аквиле в апреле этого года наблюдалось аномальное увеличение темпа счета LVD по низкому порогу, из которого следует, что концентрация радона превышала более чем на порядок среднее значение в радиусе более, чем 15 км от установки

LVD. Результаты-2009

5. Зарядовое отношение мюонов космических лучей

$R=1.26\pm 0.11$ (сист) ± 0.04 (стат).



Измеренная величина R_μ (черный квадрат – данные LVD, кружки – данные OPERA, кривые – теоретические зависимости $R(E_\mu)$)

III. OPERA



машина для сборки кирпичей



система манипуляци кирпичами

OPERA. Результаты-2009

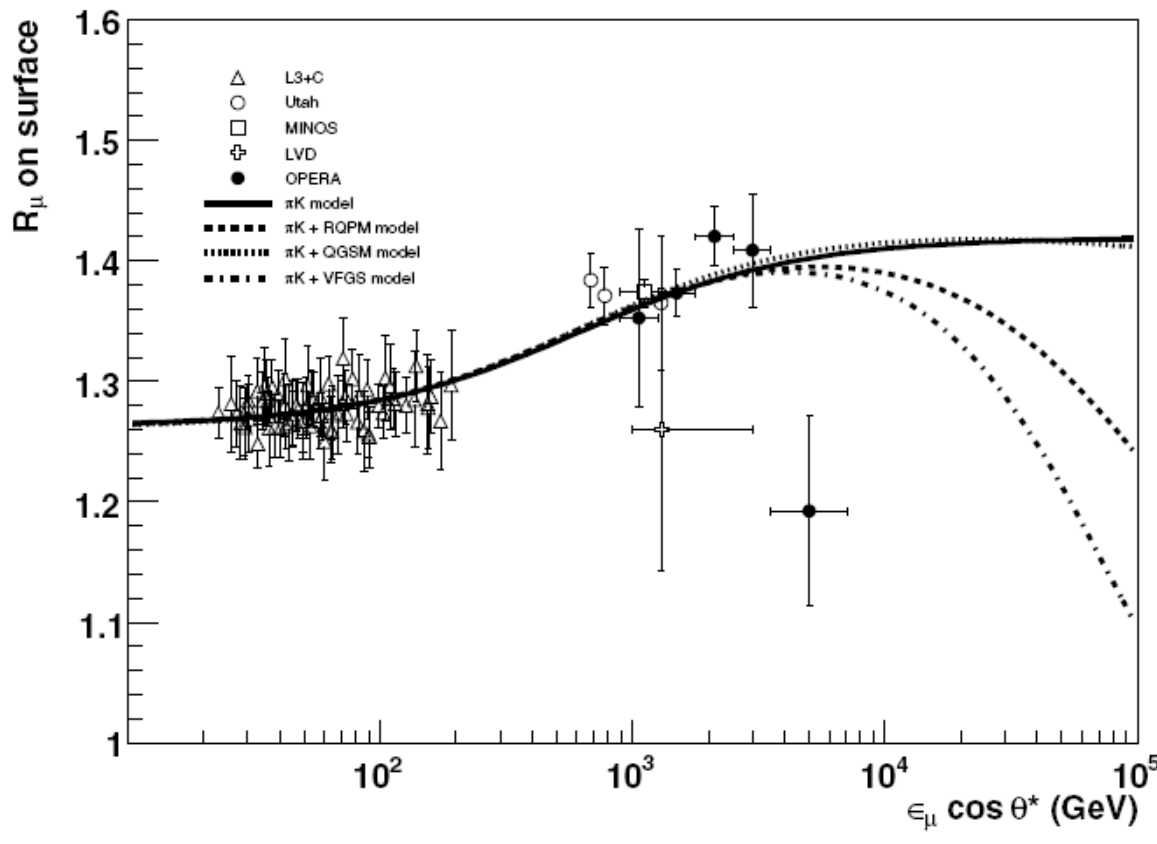
Зарядовое отношение мюонов космических лучей

Одиночные мюоны:

$$R_{\mu}(N_{\mu} = 1) = 1,377 \pm 0,014$$

Множественные мюоны:

$$R_{\mu}(N_{\mu} > 1) = 1,23 \pm 0,06$$



Значения R_{μ} , измеренные экспериментом OPERA в сравнении с другими экспериментами

OPERA. Результаты-2009

Физический этап эксперимента

1. В 2009 году во время работы ускорительного пучка российские ученые работали в составе групп, обеспечивающих проведение эксперимента *CSR* – замена сменных эмульсионных пластин и установка их в детекторе – (50 смен)

BMS - автоматизированная система извлечения эмульсионных блоков из детектора OPERA – (39 смен).

ВН – извлечение эмульсионных блоков из детектора и отделение сменных эмульсионных пластин, маркировка эмульсионного материала рентгеновским пучком и космическими мюонами - (311 смен).

Проявка эмульсий в проявочном центре Гран Сассо - (168 смен)

Сканирование сменных эмульсионных пластин на автоматизированном комплексе лаборатории Гран Сассо (98 смены)

Всего за 2009 год было отработано **666** смен.

OPERA. Результаты-2009

Физический этап эксперимента

2. В 2009 году продолжены работы для создания условий обработки эмульсий OPERA в России. Начато сканирование эмульсионного материала, переданного коллаборацией ОПЕРА в Россию. Получено новое оборудование для сканирования, полностью соответствующее европейским аналогам, используемым для обработки реальных событий, полученных в ходе эксперимента. Начата его установка и наладка.

OPERA. Результаты-2009

Физический этап эксперимента

3. Создано программное обеспечение для моделирования взаимодействия нейтрино с веществом для анализа топологии событий и разработки критериев отбора событий, связанных с распадом таона. Были разработаны процедуры розыгрыша взаимодействия тау-нейтрино с рождением тау-лептона, восстановления треков и координат вершин взаимодействия и распада тау-нейтрино, а также проведены оценки величины угла излома трека и прицельного параметра.

Найдены ошибки восстановления вершины взаимодействия тау-нейтрино с веществом эмульсионного блока. Получена точность восстановления точки распада тау-лептона.

С помощью вновь созданного программного обеспечения получены распределения характеристик распада тау-лептона: угла излома трека для «длинных распадов» и прицельного параметра для «коротких распадов». Полученные распределения не зависят от первичной энергии нейтрино и от рассмотренного канала распада тау-лептона. Проведено сопоставление результатов моделирования с моделированием на основе стандартных программ, используемых в эксперименте ОПЕРА, которое показало хорошее согласие.

Спасибо за внимание!