

Р.В. Новосельцева¹, Н.Ю. Агафонова¹, В.В. Ашихмин¹, М.М. Болиев¹, В.В. Волченко¹, Г.В. Волченко¹, И.М. Дзапарова¹, Р.И. Еникеев¹, М.М. Кочкаров¹, Ю.Ф. Новосельцев¹, В.Б. Петков^{1,2}, О.Г. Ряжская¹, А.Ф. Янин¹ и LVD Коллаборация
¹ Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия ² Институт астрономии РАН, Москва, Россия



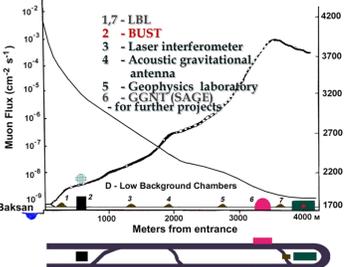
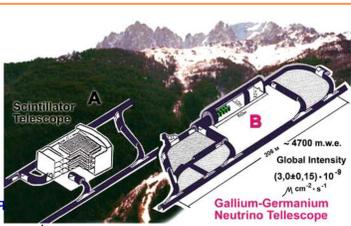
Баксанский подземный сцинтилляционный телескоп (БПСТ) Baksan Underground Scintillation Telescope (BUST)

17м*17м*11м, Н=850 м.в.э.
 Установка состоит из четырех горизонтальных и четырех вертикальных плоскостей. Полное число автономных счетчиков – 3180. Верхняя горизонтальная плоскость содержит 576 счетчиков (квадрат 24*24), а три внутренние (нижние) по 400 детекторов (20*20). Счетчик просматривается одним ФЭУ; пороговая энергия=8 МэВ



Счетчики заполнены сцинтиллятором на основе уайт-спирита (C_nH_{2n+2}, n ≈ 9); полная масса сцинтиллятора 330 тонн, три внутренние плоскости - 130 тонн.

Комплекс подземных установок Баксанской нейтринной обсерватории ИЯИ РАН



Комплекс подземных установок Gran-Sasso



Детектор большого объема Large Volume Detector (LVD)
 9м*13м*22м, Н=3650 м.в.э.
 Установка состоит из 840 счетчиков, объем счетчика просматривается тремя ФЭУ; пороговая энергия=5 МэВ. Часть счетчиков оснащена световылучающими диодами (LED). Счетчики размещены по 8 штук в несущих модулях. Модули, сгруппированные в 7 горизонтальных слоев, образуют колонны. 5 колонн, которые разделены проходами шириной 70 см, составляют башню (Рис. 1). Детектор LVD состоит из 3-х башен, разделенных коридорами шириной 2 м

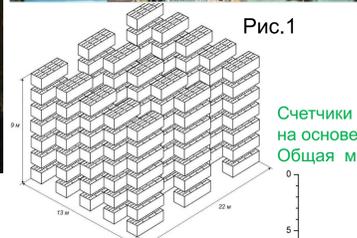


Рис. 1

Счетчики заполнены жидким сцинтиллятором на основе уайт-спирита (C_nH_{2n+2}, n ≈ 9); Общая масса сцинтиллятора 1000 тонн.

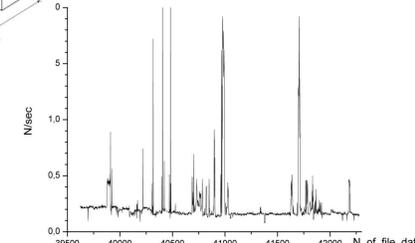


Рис.3 Темп счета одиночных событий на установке LVD, используемых в данной работе. Для данных на рис.3 дополнительное условие отбора – энергвыделение в счетчике E>8MeV. По оси абсцисс- номер файла LVD_dat с данными LVD (2012 год)

Корреляционный анализ данных установок, работающих в режиме поиска коллапсов звезд, позволяет с большей чувствительностью следить за коллапсами, повысить достоверность идентификаций нейтринных сигналов и осуществлять поиск редких нейтринных событий от галактических и внегалактических источников нейтрино.



Для установки БПСТ сигнал считается значимым, если в кластере более 9 событий.

Алгоритм отбора кандидатов на нейтринные всплески основан на поиске кластеров из N импульсов в течение временного окна фиксированной ширины. Вероятность появления кластера фоновых импульсов может быть установлена применительно к длительным периодам сбора данных, что позволяет определить значимость события-кандидата на нейтринный всплеск в единицах частоты его имитации фоном.

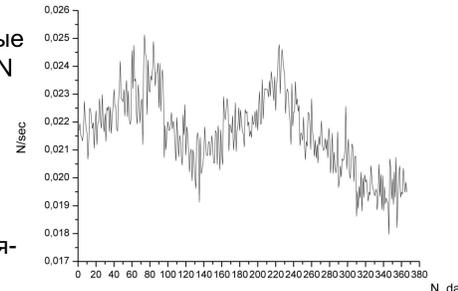
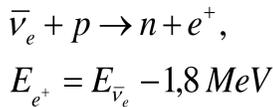


Рис.2 Темп счета одиночных событий на установке БПСТ, используемых в данной работе

Наиболее подходящей реакцией в рамках стандартной модели коллапса является реакция взаимодействия электронных антинейтрино с водородом, поскольку эта реакция обладает максимальным сечением:



1. Оценка кратности кластеров от Сверхновой

В предположении одинаковой эффективности регистрации электронных антинейтрино от вспышки Сверхновой на установках LVD и БПСТ, оценим среднюю кратность кластера в LVD \bar{k}_{LVD} при заданном значении кратности кластера в БПСТ k_{BUST} :

$$\bar{k}_{LVD} = \xi * k_{BUST}, \quad (1)$$

$$\xi = M_{LVD} / M_{BUST} = 7.7 \quad (2)$$

$M_{LVD} = 1000$ т, $M_{BUST} = 130$ т.

В таблице 1 приведены полученные по формулам (1) и (2) значения кратностей в LVD для кратностей в БПСТ от 1 до 9; приведены соответствующие расстояние R_{SN} до Сверхновой [2].

2. Поиск кластеров в LVD для выделенных кластеров в БПСТ

Пусть k_{BUST} - кратность кластера в БПСТ, т.е. число импульсов в интервале $\Delta t = 20$ секунд. Мы используем скользящий интервал, время начала которого совпадает со временем срабатывания первого счетчика в кластере. Кратность кластера в LVD k_{LVD} определялась для интервала $\Delta t = 20$ секунд, начало которого совпадает в пределах 0.1 секунды с началом кластера БПСТ: $t_{LVD}^{(0)} = t_{BUST}^{(0)} \pm 0.1 \text{ sec}$. Поиск кластеров в LVD был проведен для найденных в БПСТ за 2012 год кластеров кратности 3 - 7. В табл.2 приведены исходные данные и результаты обработки: N - число кластеров в БПСТ за тот период 2012 года, когда одновременно анализировались данные с обеих установок (326.1 суток чистого времени); N_{coinc} - число совпавших кластеров LVD.

На рис.4-6 приведены данные без каких-либо условий отбора событий в данных LVD. На рис. 4 приведено распределение кластеров LVD по кратности для значения кратности кластера в БПСТ $k_{BUST} = 4$. События для кластера со множественностью 118 находятся в LVD_dat=398825. На рис.6 приведены распределения кластеров LVD по кратности для значений $k_{BUST} = 3, 4, 5$. Линией показана средняя кратность кластера в LVD, соответствующая кратности k_{BUST} (для $k_{BUST} = 6, 7$ совпало по одному кластеру из данных LVD). Как видно из рисунков, для значений кратности в БПСТ $k_{BUST} = 3, 4, 5$ значения кратностей в LVD, ожидаемые от Сверхновых, невозможно выделить из фона случайных совпадений (по меньшей мере, при данных условиях отбора событий). Распределения по k_{LVD} подобны и отличаются только статистикой (рис.6).

Таблица 1

k_{BUST}	$R_{SN}, \text{ кВ}$	\bar{k}_{LVD}
1	56.6	7.7
2	40.0	15.4
3	32.7	23.1
4	28.3	30.8
5	25.3	38.5
6	23.1	46.2
7	21.4	53.9
8	20.0	61.6
9	18.9	69.3

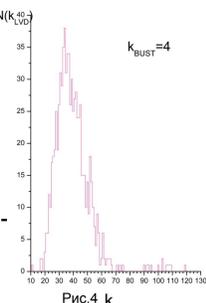


Рис.4 k_{LVD}

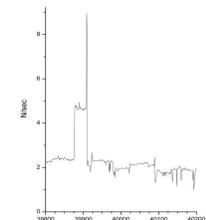


Рис.5 Темп счета одиночных событий на установке LVD (по оси абсцисс - номер файла LVD_dat)

3. Выбор интервалов в БПСТ и LVD для поиска событий от Сверхновых

Т.к. в кластере от Сверхновой в LVD должно быть больше сработавших (одиночных) детекторов, чем в БПСТ, в среднем длительность зарегистрированного БПСТ кластера Δt_{BUST} будет короче длительности кластера, зарегистрированного LVD Δt_{LVD} , и Δt_{BUST} будет находиться внутри Δt_{LVD} . Поэтому для корректного поиска совпавших кластеров от Сверхновых необходимо сделать расчёты (средних) длительностей кластеров и средних задержек между кластерами в БПСТ и LVD для различных расстояний до Сверхновой. В общем случае, результаты поиска совпадений зависят от выбора интервала и отбора кластеров.

В качестве иллюстрации рассмотрим еще один вариант - для каждого кластера в БПСТ, который начинается в $t_{BUST}^{(0)}$ ищется 20-ти секундный кластер в LVD, начало которого $t_{LVD}^{(0)}$ находится в интервале от $(t_{BUST}^{(0)} - 10 \text{ секунд})$ до $t_{BUST}^{(0)}$. Из всех кластеров, удовлетворяющих этому условию, находится кластер с максимальной кратностью. Этот кластер и ставится в соответствие кластеру в БПСТ с началом в $t_{BUST}^{(0)}$. На рисунке 7 приведены распределения по числу кластеров в LVD для двух вариантов выбора интервала, $k_{BUST} = 5$. Видно, что данный вариант отбора кластеров приводит к сдвигу распределения в сторону больших значений k_{LVD} .

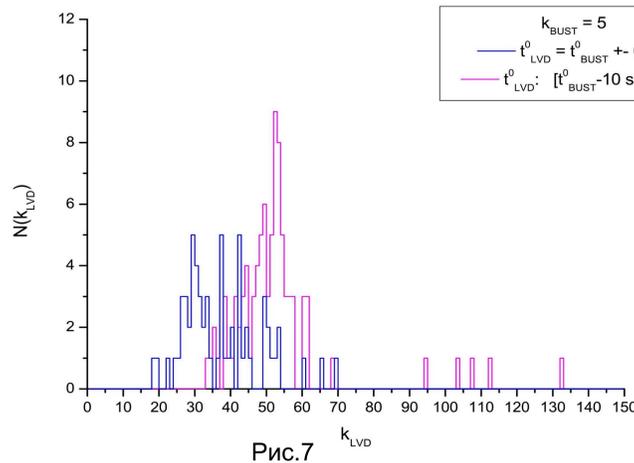


Рис.7 k_{LVD}

4. Выводы

Разработана методика совместного анализа экспериментальных данных установок LVD и БПСТ и проведен совместный поиск редких нейтринных событий от Галактических источников.

Проведен совместный анализ экспериментальных данных установок LVD и БПСТ за период 2012 года длительностью 326.1 суток чистого времени.

Получены распределения по кратности кластеров в LVD для кластеров в БПСТ с кратностью от 3 до 5. Полученные распределения, при используемых условиях отбора событий, можно объяснить случайными совпадениями фоновых событий в установках LVD и БПСТ.

- О.Г. Ряжская. Нейтрино от гравитационных коллапсов звезд: современный статус эксперимента. УФН, т. 176, №10, с. 1039, 2006.
- Е.Н. Алексеев и др. Ограничение на частоту коллапсов массивных звезд в Галактике по данным наблюдения в 1980-1992 годах на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе. ЖЭТФ, т. 104, в. 3(9), с.2897, 1993.
- Н.Ю. Агафонова и др. Поиск различных типов нейтрино от коллапсирующих звезд с помощью детектора LVD. Известия РАН, сер. физ., т. 75, №3, (2011), 445, 2011.
- Р.В. Новосельцева и др. Поиск нейтринных всплесков на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе. Известия РАН, сер. физ., т.75, N 3, с.453, 2011

*Работа поддержана Российским Фондом Фундаментальных исследований (Грант 12-02-12127) и программой Президиума РАН «Фундаментальные свойства материи и астрофизика».

Таблица 2

Множественность событий в кластере БПСТ k_{BUST}	N-число кластеров БПСТ, имеющих множественность k_{BUST}	N_{coinc} - число совпавших кластеров LVD		
3	37940	5582	без дополнительных условий отбора	
4	4754	788		
5	501	72		
6	34	1		
7	4	1		
3	37940	5076		без учета LED в данных
4	4754	734		
5	501	74		
6	34	1		
7	4	1		
3	37940	628	Энергвыделение в счетчике E>8MeV	
4	4754	96		
5	501	8		
6	34	0		
7	4	1		
3	37940	595		без учета LED в данных, энергвыделение E>8MeV
4	4754	94		
5	501	7		
6	34	0		
7	4	1		

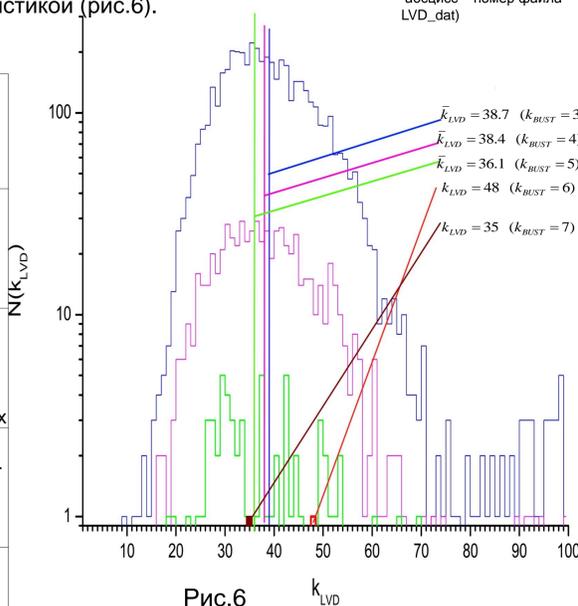


Рис.6 k_{LVD}