

Поиск различных типов нейтрино от коллапсирующих звезд с помощью детектора LVD

Н.Ю. Агафонова, **В.В. Бояркин**, В.Л. Дадыкин,
Е.А. Добрынина, Р.И. Еникеев, Г.Т. Зацепин, А.С. Мальгин,
О.Г. Рязская, В.Г. Рясный, И.Р. Шакирьянова, В.Ф. Якушев

(Коллаборация )

Институт ядерных исследований РАН, Москва



Георгий Тимофеевич Зацепин

- 840 сцинт. счетчиков
- Масса сцинтиллятора 1000 т
- Масса Fe 1000 т
- Модульная структура
- 2 порога:

- 5 МэВ
- 0,7 МэВ

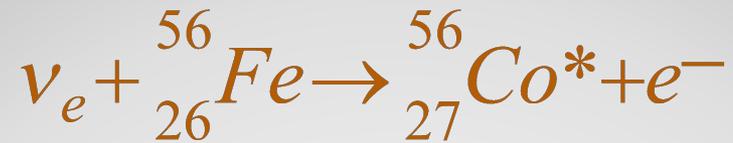


Описание детектора





Реакции взаимодействия нейтрино с веществом детектора



Энергия нейтрино, МэВ	Сечение взаимодействия, см ²	Число взаимодействий	Эфф. регистрации, %	Число событий
10	1,61x10 ⁻⁴²	8	0	0
20	3,75x10 ⁻⁴¹	90	15	14
30	1,80x10 ⁻⁴⁰	290	32	93
40	4,14x10 ⁻⁴⁰	500	46	230
50	7,43x10 ⁻⁴⁰	720	58	416
60	1,17x10 ⁻³⁹	940	67	630

Немного о реакциях на железе

Поиск кластеров, состоящих из m сигналов в течение временного окна фиксированной ширины, Δt .

Частота имитации события фоном, т.е. появления кластеров длительностью 20 с и множественностью $> m$:

- f_{bk} – темп счета фоновых событий
 - $P(k; f_{bk} \Delta t)$ - пуассоновская вероятность получить кластер множественностью k за время Δt , если $f_{bk} \Delta t$ - среднее число фоновых импульсов
 - N – число интервалов за день
- $$f_{\text{события, День}} = N \cdot \sum_{k=m}^{\infty} P(k; 20 \cdot f_{bk} / e^{-1}) \quad -1$$

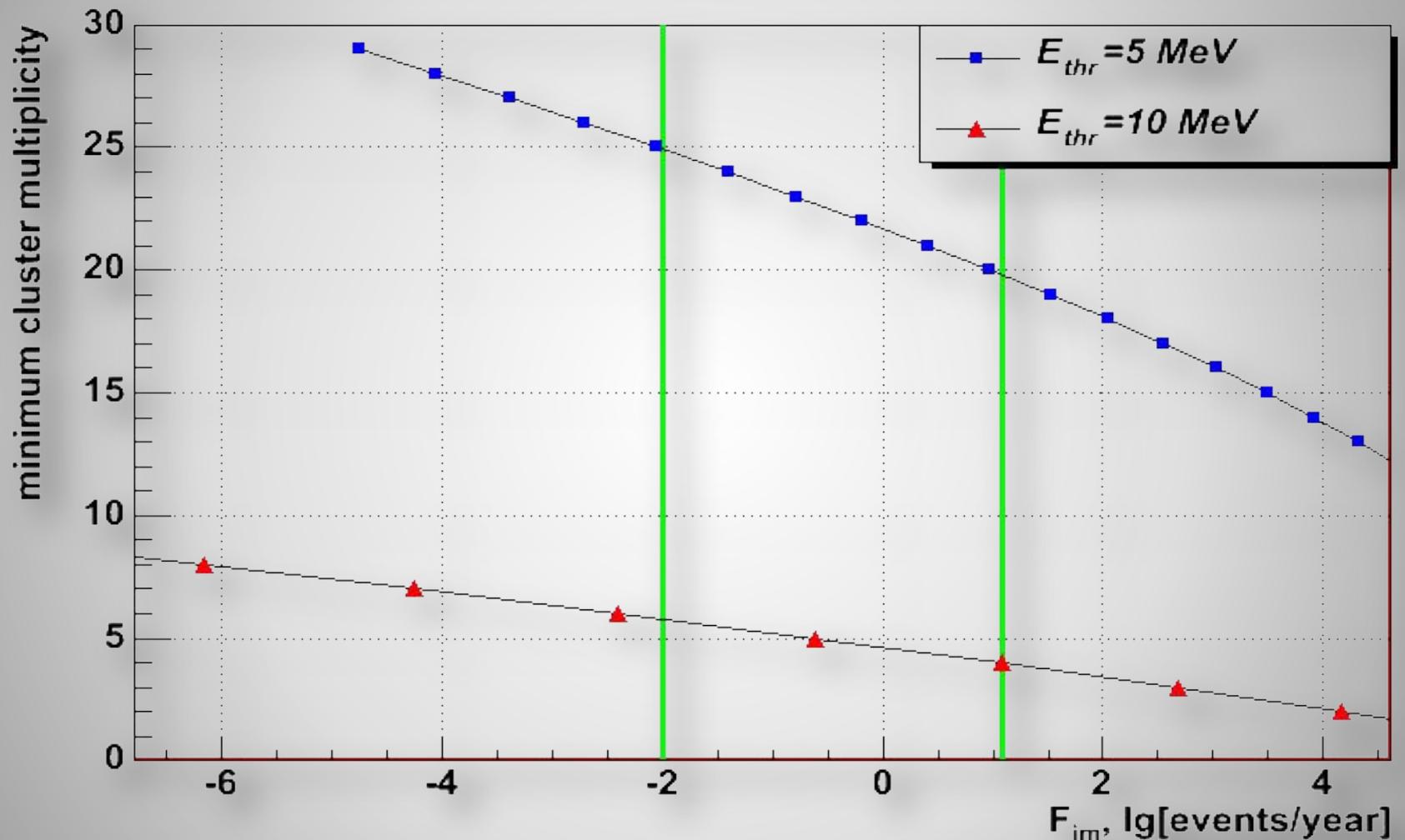
Критерии отбора событий-кандидатов

- $f_{bk} = 0.005 \text{ с}^{-1}$ (темп счета фоновых событий при пороге 10 МэВ),

для получения события, вероятность имитации фоном которого равна один раз в 100 лет, требуется кластер из $m_{\min} = 6$ импульсов

- $f_{bk} = 0.29 \text{ с}^{-1}$ (порог 5 МэВ) – из 25

Кластер рассматривается как кандидат на нейтринный всплеск от Сверхновой, если его множественность $m > m_{\min}$.
Выбранное значение F_{im} составляет 10^{-2} в год



Минимальная множественность кластера как функция F_{im} . Квадраты соответствуют $E_{cut} = 5 \text{ МэВ}$ и $f_{bk} = 0,29 \text{ Гц}$, треугольники – $E_{cut} = 10 \text{ МэВ}$ и $f_{bk} = 0,005 \text{ Гц}$.

- В течение 5618 дней наблюдений кластеров-кандидатов на регистрацию **антинейтринного** всплеска от Сверхновых обнаружено не было, что позволяет установить верхний предел на частоту коллапсов Сверхновых, протекающих по Стандартной модели, равный **1/6,7 событий в год** на 90% уровне достоверности

LVD Collaboration "Search for neutrino bursts with LVD at Gran Sasso" // Procs. of 31st ICRC, Lodz. - 2009

- топологическое распределение импульсов (события от вспышки Сверхновой равномерно распределены в объеме детектора, тогда как фоновые чаще встречаются во внешних счетчиках);
- энергетическое распределение (спектр фоновых импульсов быстро падает с увеличением энергии; взаимодействие нейтрино с железом имеет четкий пик около 7 МэВ; взаимодействие антинейтрино с протоном – Ферми-Дираковский спектр);
- наличие низкоэнергичного импульса как признака взаимодействия антинейтрино с протоном.

Исследование событий-кандидатов (офф-лайн)

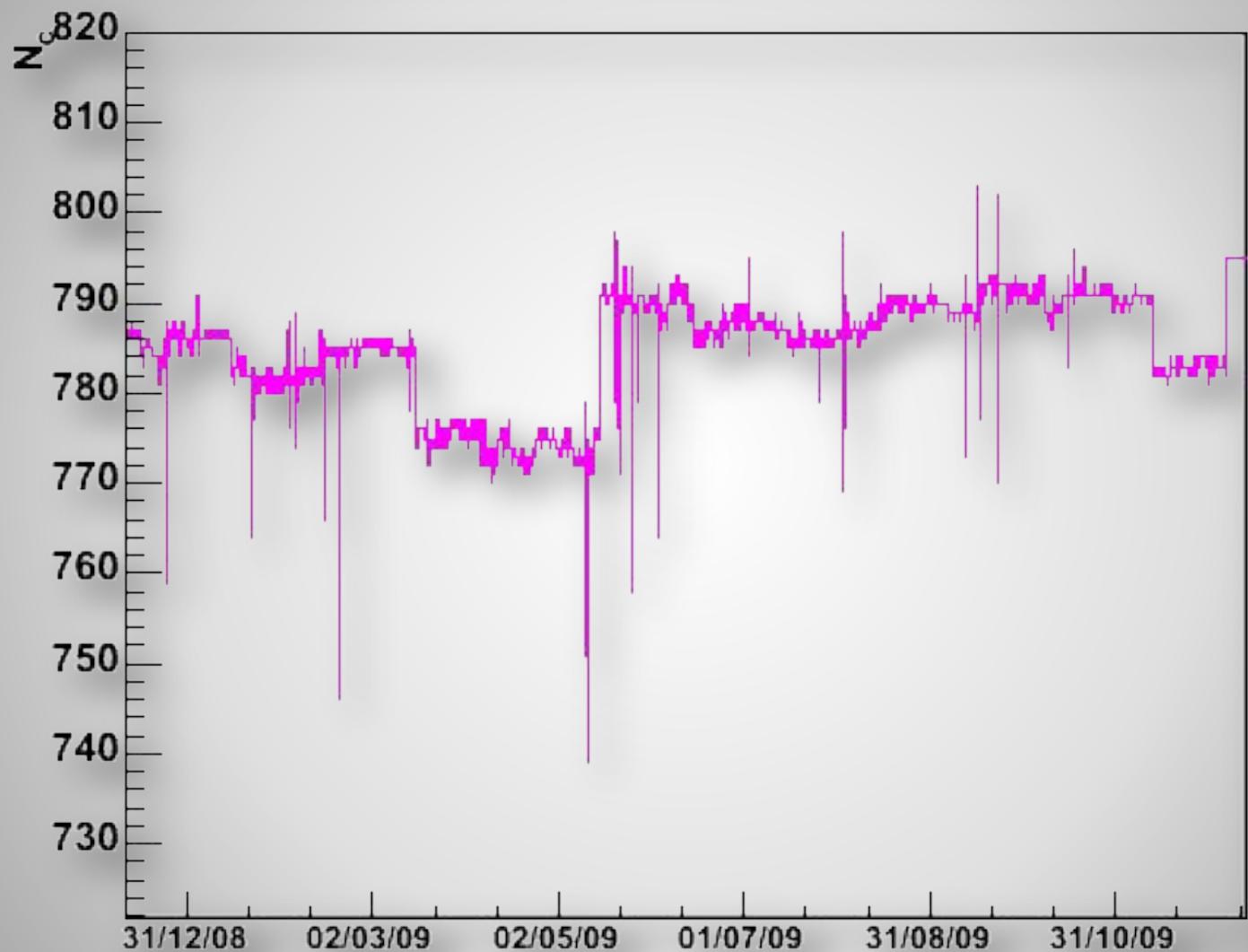
Два порога для энергосвиделения в счетчике:

- порог 5 МэВ позволяет зарегистрировать не только нейтринный всплеск от гравитационного коллапса звезды, протекающего по стандартной модели, но и гамма-кванты от снятия возбуждения ядер кобальта и железа. Это является признаком регистрации электронного нейтрино;
- порог 10 МэВ позволяет зарегистрировать гамма-кванты от снятия возбуждения ядра углерода. При отсутствии сигнала в области 5 – 10 МэВ, это служит признаком регистрации других типов нейтрино – мюонного и тау.

Поиск нейтрино всех типов от гравитационных коллапсов

- Отклик детектора на атмосферные мюоны. Если темп счета мюонов либо спектр их энерговыделений сильно отличается от среднего, это указывает на проблемы в сцинтилляционных счетчиках или в электронике. Счетчики, исключаемые из анализа по этой причине, составляют не более 5% от общего количества.
- Не рассматриваются счетчики с темпом счета (при $E \geq 7$ МэВ) $R \geq 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ (средний темп счета составляет $R = 2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ счетчик $^{-1}$). Эта проблема возникает либо при неполадках с электроникой либо при неправильной калибровке.
- Не анализируются данные со счетчиков, которые «слишком часто» участвуют в регистрации кластеров событий.

Отбор счетчиков



Число счетчиков, включавшихся в анализ

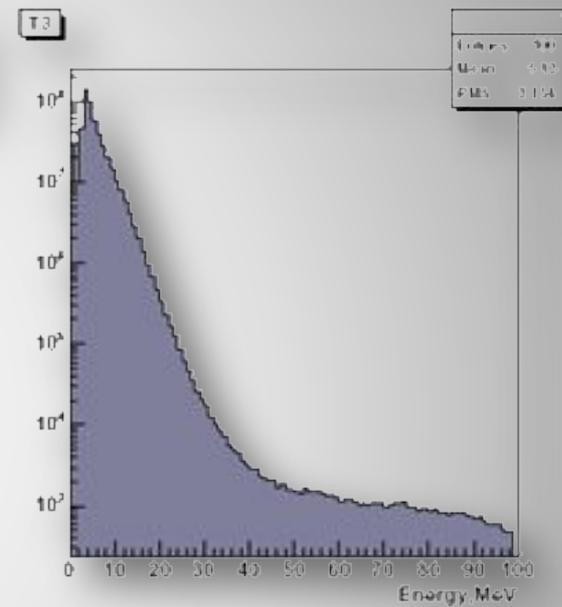
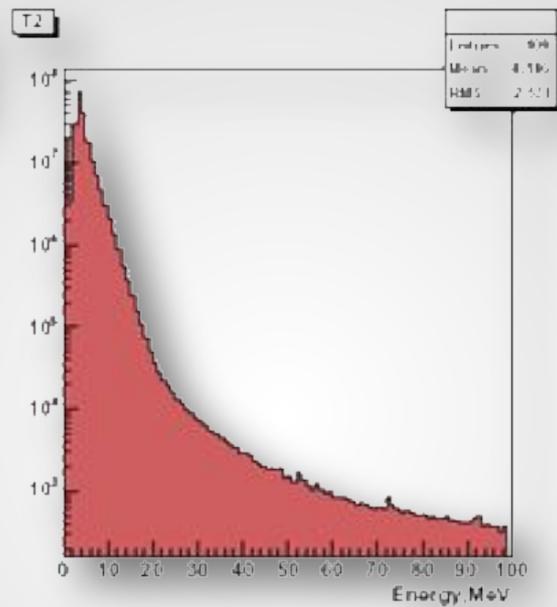
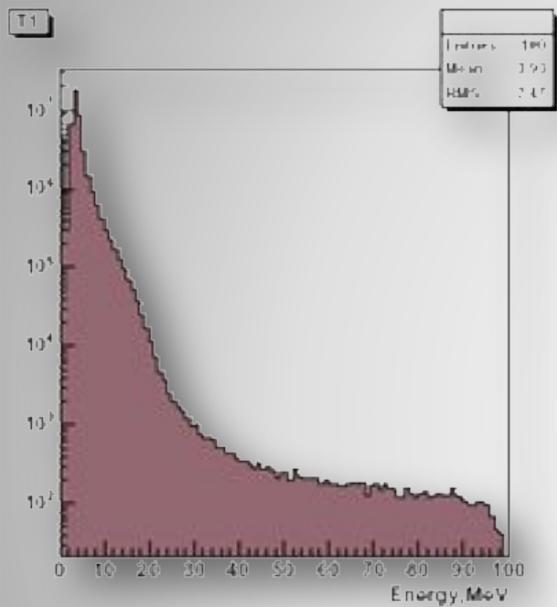
$$\frac{M_{\text{сигнала}}}{E} \leq 150$$

- Исключение мюонов

Одновременное (<200 нс) срабатывание
до 4х счетчиков

- Регистрация гамма-квантов от снятия возбуждения кобальта

Отбор событий



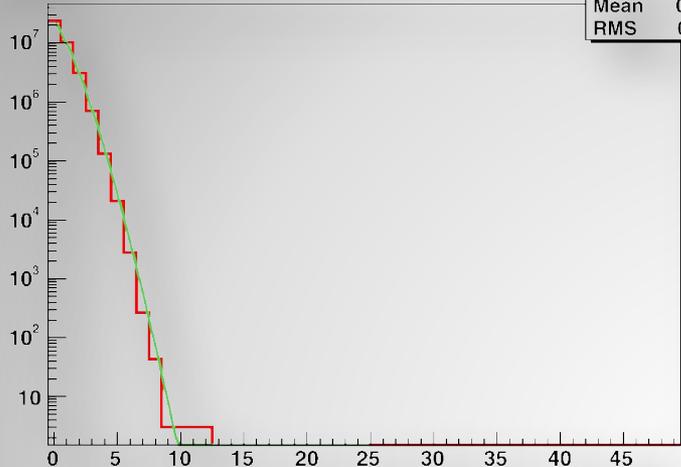
Энергетические спектры событий

N одиночных триггерных импульсов во временном интервале 3, 5, 10 и 20 сек для каждого триггерного импульса.

Выбор продолжительности временных интервалов определяется теоретическими предсказаниями о длительности нейтринного всплеска: 2,4 – 6 сек в модели вращающегося коллапсара, 10 – 20 сек в модели стандартного коллапса.

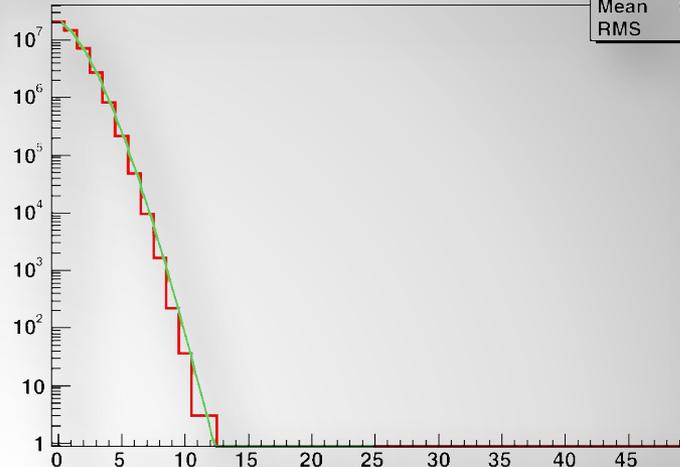
Поиск кластеров импульсов

3 sec



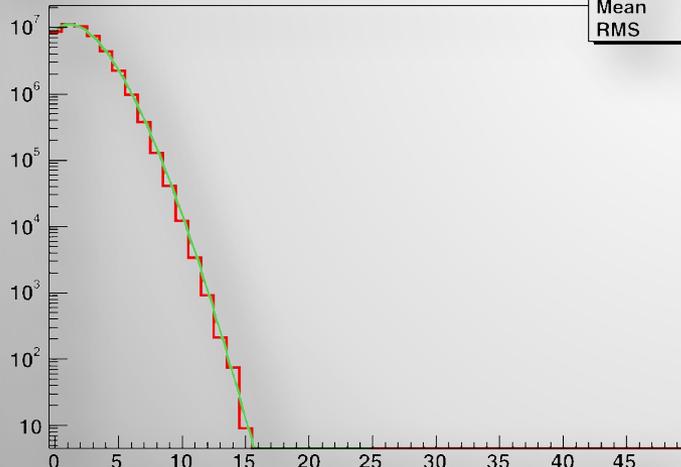
Entries 500
Mean 0.5071
RMS 0.7611

5 sec



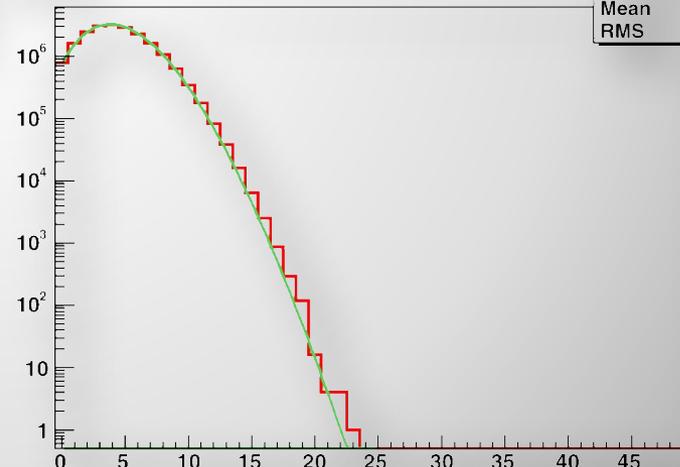
Entries 500
Mean 0.8993
RMS 1.044

10 sec



Entries 500
Mean 2.026
RMS 1.64

20 sec



Entries 500
Mean 4.41
RMS 2.518

Распределение количества триггерных импульсов с энерговывделением выше 5 МэВ

- Статистического превышения количества кластеров над фоном не обнаружено
- впервые поставлено экспериментальное ограничение на частоту коллапсов, не сопровождающихся всплеском излучения электронных антинейтрино:

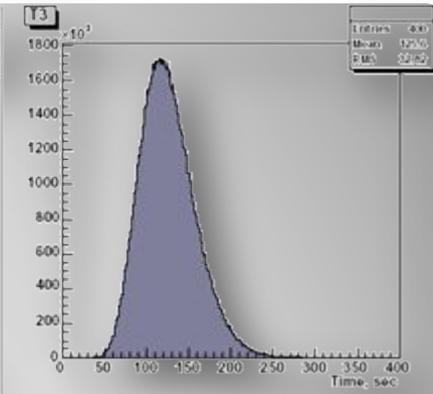
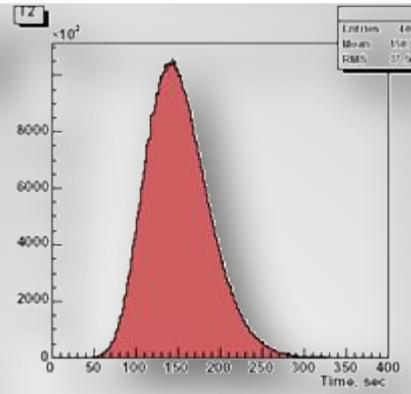
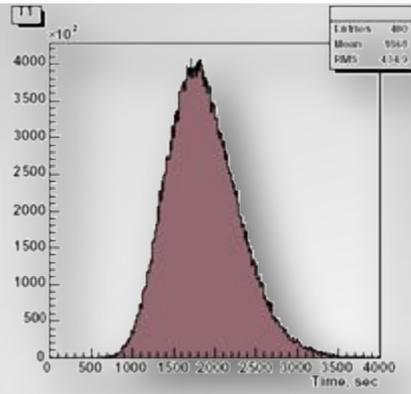
менее 1 события в 4 года
на 90% уровне достоверности.

Обработаны данные за 9,5 лет

В связи с отсутствием событий-кандидатов следует дополнительно проанализировать способность детектора зарегистрировать нейтринный всплеск от гравитационного коллапса звезды в Галактике за рамками Стандартной модели. Благоприятны ли фоновые условия для используемой процедуры отбора событий-кластеров? Можно построить распределения, за какое время внутренние счетчики каждой башни регистрируют триггерных импульсов с энерговыделением >5 МэВ (кластер множественности N_{trig}).

$$N_{trig} = 5 \div 30$$

Фоновые кластеры импульсов

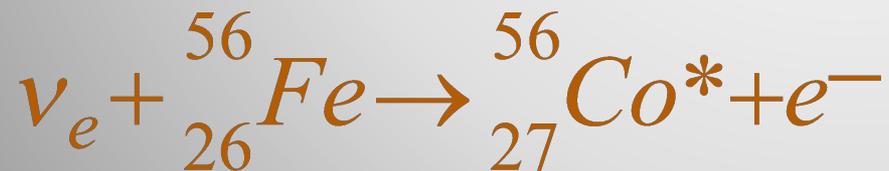


N_{trig}	Среднее время, за которое башня регистрирует N_{trig} импульсов, сек		
	T1	T2	T3
5	467±211	38±17	31±15
10	934±300	75±25	63±22
15	1400±373	113±32	94±28
20	1868±435	150±38	125±33
25	2330±484	188±43	157±38
30	2765±497	226±47	188±43

Среднее время, за которое башня регистрирует N_{trig} импульсов, сек. Указаны статистические ошибки.



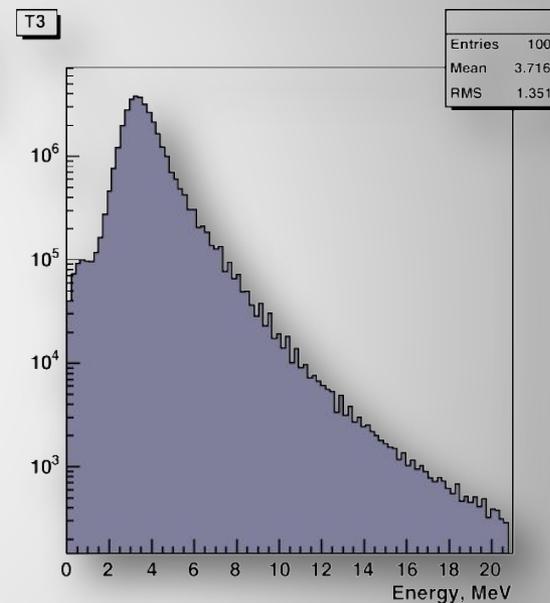
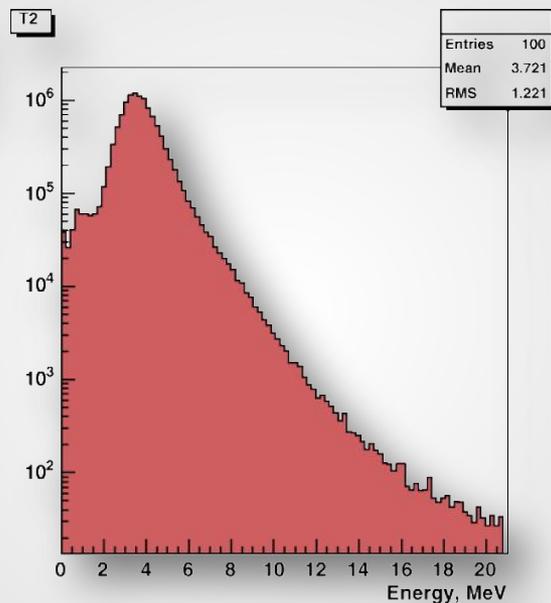
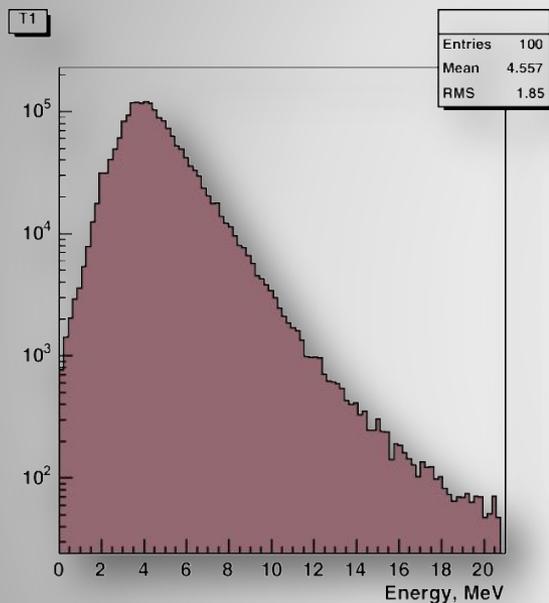
- Рождается одна частица; нет специфической сигнатуры



Триггеры без сопровождения

Условие отбора	1/(темп счета триггеров без сопровождения), сек		
	T1	T2	T3
все счетчики	12,4	5,3	2,8
только внутренние счетчики	24	19	9
внутренние счетчики; энергия триггера 6–8 МэВ	27,4	26	20

Темп счета триггеров без сопровождения



Энергетическое распределение триггеров без сопровождения

- Детектор LVD способен эффективно регистрировать нейтринную вспышку от гравитационного звездного коллапса в нашей Галактике не только при реализации Стандартной модели, в которой излучаются преимущественно электронные антинейтрино, но и в случае какой-либо другой модели (и модель вращающегося коллапсара – только одна из них) с испусканием **нейтрино всех типов**. Кластеров-кандидатов на нейтринные всплески от гравитационных коллапсов звезд за 9 лет работы детектора не обнаружено.

Заключение

- **Астрофизические параметры вспышки Сверхновой ещё не установлены достаточно точно, так что ситуация, вероятно, улучшится после того, как мы сможем наблюдать следующую вспышку. Поэтому необходимо подчеркнуть важность существования экспериментов, чувствительных к разным типам нейтрино. Желательно также иметь возможность идентификации канала нейтринного взаимодействия и измерения энергии приходящих нейтрино. Объединение детекторов в единую сеть, реагирующую на совпадения сигналов различных экспериментов во времени, позволяет не только существенно снизить требования к фону каждой установки, но и увеличивает достоверность событий, регистрируемых одновременно несколькими детекторами на пороге их чувствительности.**

Заключение

Спасибо за внимание

Спасибо за внимание