

Лабораторная работа 5

Основы валидации данных нейтринного детектора Борексино

Вводная лекция

Литвинович Е.А.

Цель работы:

Знакомство с принципами первичной обработки данных нейтринного детектора Борексино, принятие решений о качестве набранных данных и их пригодности для последующего высокоуровневого анализа.

1. ДЕТЕКТОР БОРЕКСИНО

Борексино – это многозадачный, сверхнизкофоновый, сцинтилляционный детектор с массой мишени 278 т., который с 2007 г. ведет непрерывный сбор данных в подземной лаборатории Гран-Сассо (Италия). К настоящему времени при помощи Борексино были получены результаты, значение которых сложно переоценить. Так, впервые были измерены потоки «бериллиевых», *per*- и *pp*-нейтрино от Солнца; поток «борных» нейтрино был измерен с наиболее низкого порога 3 МэВ, недоступного ранее другим детекторам прямого счета. Кроме того, Борексино является одним из двух детекторов в мире, зарегистрировавших сигнал от гео-нейтрино.

Детектор Борексино интегрирован в мировую сеть раннего предупреждения о сверхновой (SNEWS – SuperNova Early Warning System) и способен регистрировать нейтринное излучение от астрофизических источников с наименьшего среди входящих в SNEWS детекторов энергетического порога (200 кэВ).

Детектор расположен в подземной лаборатории Гран-Сассо (Италия) на глубине 3800 метров водного эквивалента. На рис. 1 приведено схематическое изображение детектора. Его мишенью служит 278 т. жидкого органического сцинтиллятора, залитого в тонкую (125 мкм) нейлоновую сферу радиусом 4,25 м. В Борексино используется сцинтиллятор на основе РС (псевдокумол, C_9H_{12}) с добавлением 1,5 г/л РРО (2,5-диметилкоксазол, $C_{15}H_{11}NO$). Внутренняя сфера со сцинтиллятором расположена внутри другой нейлоновой сферы радиусом 5,5 м, которая заполнена РС с добавлением 5 г/л DMP (диметилфталат) и служит защитой мишени от внешней радиоактивности.

Две нейлоновые сферы, вложенные друг в друга, находятся внутри стальной сферы радиусом 6,85 м., которая также заполнена РС с добавлением DMP. На стальной сфере установлены 2212 фотоэлектронных умножителей (ФЭУ), изготовленных из низкорadioактивных материалов. Стальная сфера расположена на опорах внутри цилиндрического бака радиусом 9 м. и высотой 16,9 м., в который залито 2100 м³ сверхчистой воды. Водяной бак служит пассивной защитой мишени от внешней фоновой радиоактивности. Кроме того, внутри водяного бака установлены 208 ФЭУ, которые обеспечивают активное подавление долетающих до лаборатории космических мюонов (так называемый внешний детектор).

Как уже отмечалось, основной целью эксперимента является изучение низкоэнергетических электронных нейтрино от Солнца. Электронные нейтрино регистрируются детектором по рассеянию на электронах атомов сцинтиллятора. Основной

особенностью детектора является беспрецедентно высокая степень радиационной чистоты сцинтиллятора и конструкционных материалов, столь необходимая в низкоэнергетических сцинтилляционных экспериментах. Благодаря этому, энергетический порог Борексино составляет всего 100 кэВ.

Информация от детектора Борексино накапливается и анализируется посредством нескольких независимых систем сбора данных. Основная система сбора данных предназначена для регистрации, в первую очередь, низкоэнергетических нейтринных событий в области $0,1 \div 15$ МэВ. Дополнительная система сбора данных, построенная на основе быстрых оцифровщиков формы импульса (FWFD – Fast WaveForm Digitizers или FADC – Flash ADC), была разработана и внедрена в систему сбора данных Борексино с целью расширения основной системы и решения недоступных для нее задач в области до 50 МэВ. Энергетический порог этой системы 1 МэВ.

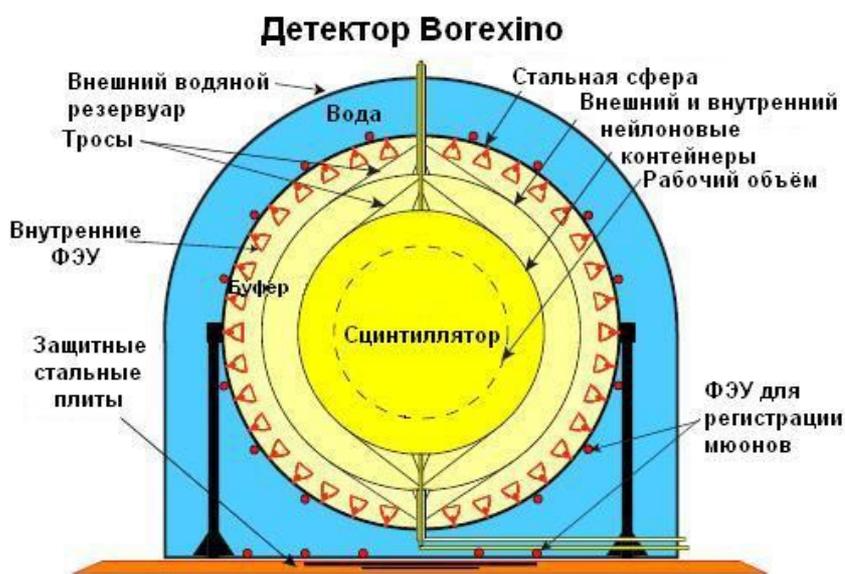


Рис. 1. Схематическое изображение детектора Борексино.

2. СИСТЕМА СБОРА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ БЫСТРЫХ ОЦИФРОВЩИКОВ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА (КУРЧАТОВСКИЙ ЭЛЕКТРОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС – КЭИК)

Курчатовский электронно-измерительный комплекс (КЭИК) является дополнительной, автономной системой сбора данных Борексино. Эта независимая от основной электроники система была внедрена в эксперимент с целью расширения динамического диапазона спектрометрических измерений Борексино в недоступную основной электронике область до 50 МэВ. Комплекс предназначен для решения следующих основных задач:

- спектрометрия сцинтилляционных событий в области $1 \div 50$ МэВ;
- оцифровка формы сцинтилляционных импульсов;
- разделение близких по времени многократных кластеров событий.

Таким образом, в Борексино стало возможным решение поисковых задач, связанных с детектированием (анти)нейтринного излучения от астрофизических объектов

(сверхновые, гамма-всплески, сгустки темной материи (ТМ), кластеры первичных черных дыр и др.).

Основу комплекса составляют трехканальные, 400 МГц, 8-битные оцифровщики формы импульса сигналов CAEN V896. Всего в 34 модулях имеется 102 канала оцифровщиков, которые принимают суммарные сигналы от ФЭУ, объединенных в группы (до 24 ФЭУ в группе). Суммарные сигналы формируются при помощи разработанных и собранных в Москве аналоговых сумматоров и блоков-распределителей тактовых частот. Для выработки триггера на 16-канальный дискриминатор CAEN v812 поступают суммарные сигналы от ФЭУ, объединенных в группы по 160 шт. Если в течение 40 нс регистрируется превышение порогов более чем в четырех каналах дискриминатора включительно, программируемая станция CAEN v1495 на базе ПЛИС (триггерный модуль) вырабатывает сигнал триггера, а записанная оцифровщиками информация формирует событие. Длина временного окна события составляет 1280 нс с шагом оцифровки 2.5 нс. На рис. 2 приведен пример события, зарегистрированного и оцифрованного системой FADC.

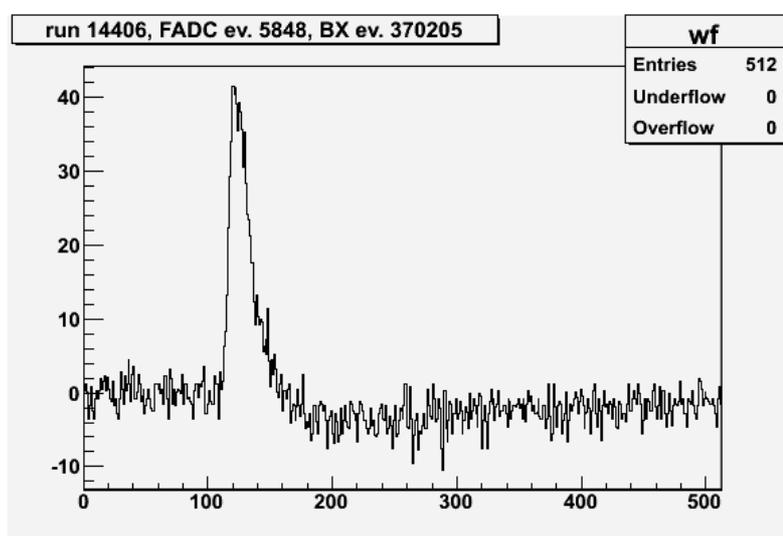


Рис. 2. Пример сцинтилляционного события с энергией 2 МэВ. Длина окна сбора данных составляет 1280 нс ($512 \cdot 2,5$ нс).

Управление процессом сбора данных производится одноплатной управляющей ЭВМ Motorola MVME6100. Оцифровщики формы импульса позволяют вести разделение высокоэнергетических точечных сцинтилляционных событий от фоновых, связанных, в частности, с космическими мюонами и вызываемыми ими адронными и электромагнитными ливнями.

3. ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Определения, которые необходимо усвоить для выполнения работы:

1. Внешний детектор – активная защита Борексина от космических мюонов (водный черенковский детектор).
2. Внутренний детектор – собственно сцинтилляционный детектор нейтрино.
3. Типы триггера. В системе сбора данных на базе быстрых оцифровщиков формы импульса условия выработки триггера различны. Каждое событие имеет свой тип триггера, например, в случае срабатывания внешнего детектора тип триггера =8, а

внутреннего =1. Одновременное срабатывание обоих детекторов приводит к событию с типом триггера 9. В таблице приводится цифровой код всех возможных типов триггера:

Цифровой код типа триггера	Описание
1	Триггер по выходу мажоритарных совпадений дискриминатора («нейтрино»-триггер)
3; 11	Синхронный калибровочный импульс генератора на входные каскады базовой электроники
5	Синхронный калибровочный импульс лазера ($\lambda = 394$ нм) на фотокатоды ФЭУ
8; 9; 25; 40; 41; 49; 57	Срабатывание внешнего детектора (космические мюоны)
16; 32	Триггер подсистемы для проверки эффекта превышения нейтрино из ЦЕРН скорости света

4. Измерение энергии в системе FADC. В системе сбора данных на базе FADC энергия измеряется двумя способами:

- *asum* – аналоговая сумма всех ФЭУ на одном канале оцифровщика. Эффективна в диапазоне $1 \div 10$ МэВ;

- *dsum* – цифровая сумма всех каналов оцифровщиков, каждый из которых оцифровывает сигналы с $12 \div 24$ ФЭУ. Энергетическое разрешение по этой переменной хуже, чем по *asum*, однако по ней можно измерять энергию событий в области до 50 МэВ.

Лабораторная работа выполняется на компьютерах под управлением ОС Linux в НИЦ «Курчатовский институт» в рамках научно-образовательной лаборатории физики нейтрино и астрочастиц. Учащиеся получают доступ к экспериментальным данным Борексина и программе валидации данных *fadc_validation*. Для каждой конкретной серии данных программа валидации выводит значения ряда параметров и гистограммы, на основании которых учащиеся принимают решение о качестве данных в этой серии и их пригодности для дальнейшего анализа.

Подробное описание процедуры выполнения работы и задания собраны в отдельном документе – методических указаниях по выполнению работы.