

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Калибровка сцинтилляционного детектора заряженных частиц установки широких атмосферных ливней

Введение

Энергетический диапазон первичного космического излучения простирается до энергий 10^{20} эВ и, возможно, значительно дальше. Первичные космические лучи с энергией $\geq 10^{15}$ эВ относят к области так называемых космических лучей сверхвысоких энергий в отличие от остальных космических лучей. Интенсивность первичного космического излучения резко падает с увеличением энергии регистрируемых частиц. Например, детектор площадью 1 м² на границе атмосферы регистрирует в среднем около 100 частиц в год с энергией $\geq 10^{15}$ эВ. Если же повысить энергетический порог до 10^{19} эВ, то на площадь 1 км² за год следует ожидать попадания всего одной такой частицы. Малая интенсивность потока частиц сверхвысоких энергий не позволяет проводить их исследование при помощи прямых методов, когда частица непосредственно попадает в детектор, и мы можем наблюдать результат ее взаимодействия с веществом этого детектора. Однако оказывается, что наличие у Земли атмосферы позволяет получать информацию о космических лучах сверхвысоких энергий. Прохождение первичного космического излучения (в основном, протонов и ядер) через атмосферу приводит к существенному изменению состава излучения. Связано это с тем, что путь, проходимый частицами в атмосфере, много больше величины среднего пробега неупругих взаимодействий протонов и ядер. Поэтому в результате сильных взаимодействий в атмосфере рождаются новые частицы, которых не было в первичном излучении; многочисленные дальнейшие взаимодействия (сильные и электромагнитные), а также распады нестабильных частиц приводят к формированию различных компонент вторичного космического излучения. Эти вторичные частицы, образуя ядерно-электромагнитный каскад, могут регистрироваться на расстояниях, превышающих десятки, сотни и даже тысячи метров от оси ливня (ось ливня - это точка пересечения продолжения траектории первичной частицы с поверхностью, на которой расположена установка).

Вот тут-то и появляется возможность регистрировать широкий атмосферный ливень (ШАЛ) - так называют ливень из потомков первичной частицы - при помощи детекторов, развинутых так, чтобы охватить достаточно большую площадь, благодаря чему, число зарегистрированных событий существенно возрастает.

Как же образуется ШАЛ? На высотах порядка нескольких десятков километров от поверхности Земли первичные космические лучи (в основном протоны) с энергией $>10^{14}$ эВ взаимодействуют с ядрами атомов воздуха. В этих взаимодействиях рождаются нуклоны и другие вторичные частицы: пионы (π^\pm), каоны (κ^\pm), гипероны и т.д.. Как правило, одна из вторичных частиц, того же типа, что и первичная, получает, в среднем, около 50% начальной энергии (так называемый “лидирующий” нуклон). Такая частица в состоянии еще несколько раз провзаимодействовать в атмосфере. Первичный нуклон с энергией $>10^{12}$ эВ может испытать до десятка таких последовательных столкновений с ядрами атомов воздуха. При энергии свыше 10^{14} эВ значительная часть генерированных в этих взаимодействиях нестабильных частиц пионов (π^\pm) и каонов (κ^\pm) не успевает распасться на пути порядка одного пробега неупругого ядерного взаимодействия и, в свою очередь, взаимодействуют с ядрами атомов воздуха, образуя новые пионы (заряженные и нейтральные), каоны (κ^\pm) и т.д..

За счет распада заряженных пионов π^\pm (и каонов κ^\pm) в атмосфере появляются мюоны и нейтрино. Так, время жизни заряженных пионов $\tau \sim 2*10^{-8}$ с., а распадаются они с образованием мюонов и нейтрино:

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu.$$

Мюон - частица нестабильная, его время жизни $\tau_\mu \sim 2*10^{-6}$ с. и распадается он на электрон, нейтрино и антинейтрино:

$$\mu^\pm \rightarrow e^\pm + \nu + \bar{\nu}$$

Наряду с лавиной из ядерно-активных частиц в атмосфере развивается и электронно-фотонная лавина. Нейтральные пионы (π^0) из-за малого времени их жизни $\tau \sim 10^{-16}$ с. практически сразу распадаются на два гамма-кванта, давая, тем самым, начало электронно-фотонной компоненте.

Действительно, энергия, которую получает эта пара квантов, много больше массы нейтрального пиона π^0 (~ 135 МэВ), и, следовательно, для таких гамма-квантов наиболее вероятным процессом взаимодействия со средой будет образование электрон-позитронных пар (e^+e^-). Электроны, в свою очередь, за счет тормозного излучения на ядрах атомов воздуха, дают опять высокоэнергичные гамма-кванты, т.е. – опять e^+e^- пару и т.д. Таким образом, в атмосфере появляется электронно-фотонный каскад.

Итак, мы видим, что в атмосфере развивается, во-первых, каскад из ядерно-активных частиц (пионы, каоны, нуклоны и т.д.) и, во-вторых, электронно-фотонный каскад за счет процессов тормозного излучения и образования пар.

Однако размножение частиц в этих каскадах ограничивается процессами диссипации энергии. Развитие лавины на нуклонах будет происходить вплоть до энергий, соответствующих порогу рождения нуклон-антинуклонных пар ($\sim 10^{10}$ эВ). Для ядерных каскадов на пионах и каонах такими диссипационными процессами будут процессы распада частиц, в результате которых вместо ядерно-активных частиц рождаются ядерно-пассивные (мюоны и нейтрино) или, как в случае распада нейтрального пиона, энергия перейдет в электронно-фотонную компоненту. Можно показать, например, для заряженных пионов, что распадный процесс для них станет преобладающим, когда их энергия достигнет некоторой критической величины $E_{kp} \sim m_\pi \cdot c^2 \cdot L / c\tau_0$, где L - геометрическая длина относительно ядерного взаимодействия. Значение E_{kp} можно найти из условия равенства геометрической длины L - пробегу относительно распада $L_{расп}$:

$$L_{расп} = c\tau_0 / \sqrt{1 - \beta^2} = L,$$

но энергия пионов E_{kp} равна

$$E_{kp} = m_\pi c^2 / \sqrt{1 - \beta^2},$$

и тогда

$$E_{kp} \sim m_\pi c^2 \cdot L / c\tau_0,$$

где τ_0 - время жизни покоящегося пиона π^\pm , $m_\pi c^2$ - масса покоя заряженного пиона. Для нижних слоев атмосферы $L \sim 0.6$ км и $E_{kp} \sim 10^{10}$ эВ.

В случае электронно-фотонных каскадов диссипация энергии идет за счет ионизационных потерь электронов, комптон - и фото-эффектов для фотонов. Развитие электронно-фотонных каскадов

продолжается до тех пор, пока ионизационные потери электрона на одной лавинной единице не станут равными энергии $E_{\text{кр}}$. В воздухе значение критической энергии равно 81 МэВ.

Прохождение ШАЛ через атмосферу сопровождается еще и оптическим излучением: черенковским и ионизационным.

Электроны (к которым относят и позитроны) являются наиболее многочисленными среди заряженных частиц ШАЛ. Количество мюонов в ШАЛ, имеющем на уровне моря $\sim 10^5$ электронов, составляет около 10% от числа электронов. Адроны на уровне моря составляют около 1% от полного числа частиц, а число гамма-квантов примерно вдвое превышает число электронов.

Основной целью исследования ШАЛ в настоящее время является получение астрофизической информации: сведений об энергетическом спектре, массовом составе и анизотропии первичного космического излучения.

Установки, с помощью которых исследуются ШАЛ, должны позволять определять основные параметры регистрируемого ливня: x_0 и y_0 - координаты оси ливня на уровне наблюдения, N - полное число частиц, θ и ϕ - зенитный и азимутальный углы прихода частиц, а также параметр, определяющий функцию пространственного распределения частиц.

Установки ШАЛ представляют собой систему детекторов, включенных на совпадения и расположенных на достаточно больших площадях. При этом чаще всего используются сцинтилляционные детекторы, с помощью которых определяется число заряженных частиц, время их прихода и т.д.. Учитывая многообразие частиц, составляющих ШАЛ, применяются и сочетания сцинтилляционных детекторов с черенковскими детекторами, неоновыми трубками, искровыми камерами и другими детекторами.

Предлагаемая работа выполняется на реальной функционирующей установке и включает в себя знакомство с проведением штатных операций, необходимых для обработки зарегистрированных событий и получения экспериментальных данных.

Краткое описание установки.

Цель задачи: получение калибровочных характеристик для 2-х канального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сигнала с фотоумножителя для вычисления числа релятивистских частиц, прошедших через сцинтилляционный детектор и оценки диапазона измерения плотности потока частиц в заданном детекторном пункте установки (ДП).

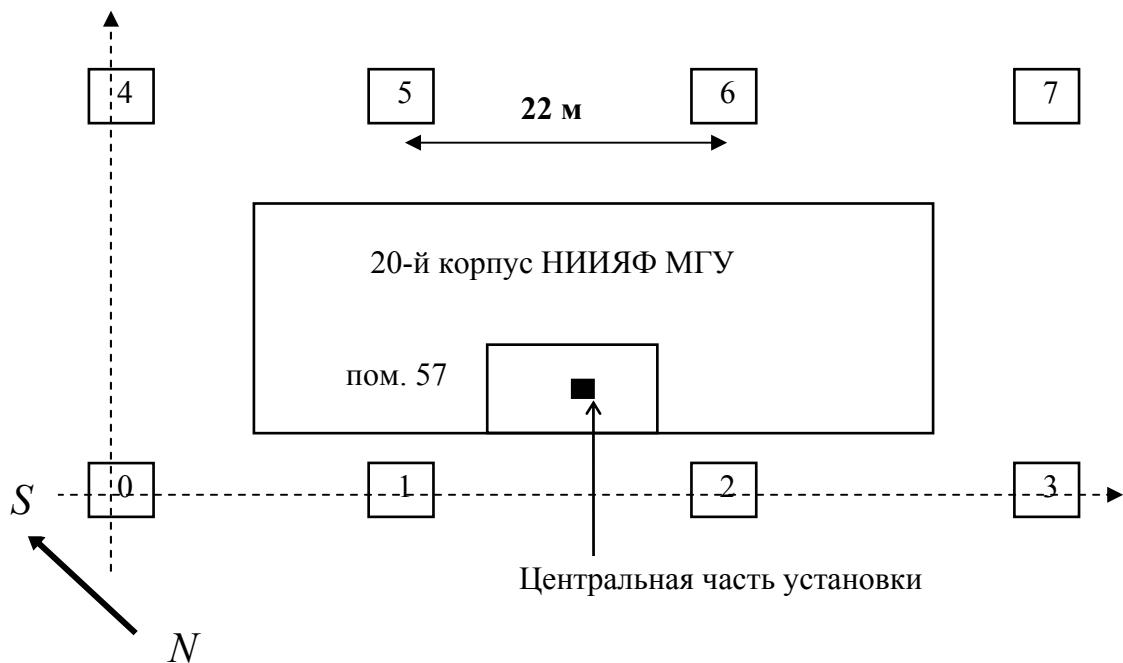


Рис.1. Расположение детекторных пунктов установки

Координаты детекторных пунктов

Номер ДП	Координата X (м)	Координата Y (м)	Координата Z (м)
0	0	0	-6
1	22.43	0.69	-6
2	44.99	0.76	-6
3	66.76	-0.09	-6
4	0.64	22.83	-6
5	23.17	22.54	-6
6	43.48	22.51	-6
7	65.61	22.60	-6

Установка предназначена для регистрации широких атмосферных ливней от первичных космических частиц с энергией $>10^{14}$ эВ. Установка состоит из 8-ми сцинтилляционных детекторов на основе полистирола, расположенных в светонепроницаемых кожухах в бетонных боксах на территории 20-го корпуса НИИЯФ МГУ. Расположение детекторных пунктов установки показано на рис.1. Каждый детектор имеет площадь 1m^2 и просматривается одним фотоумножителем ФЭУ-173.

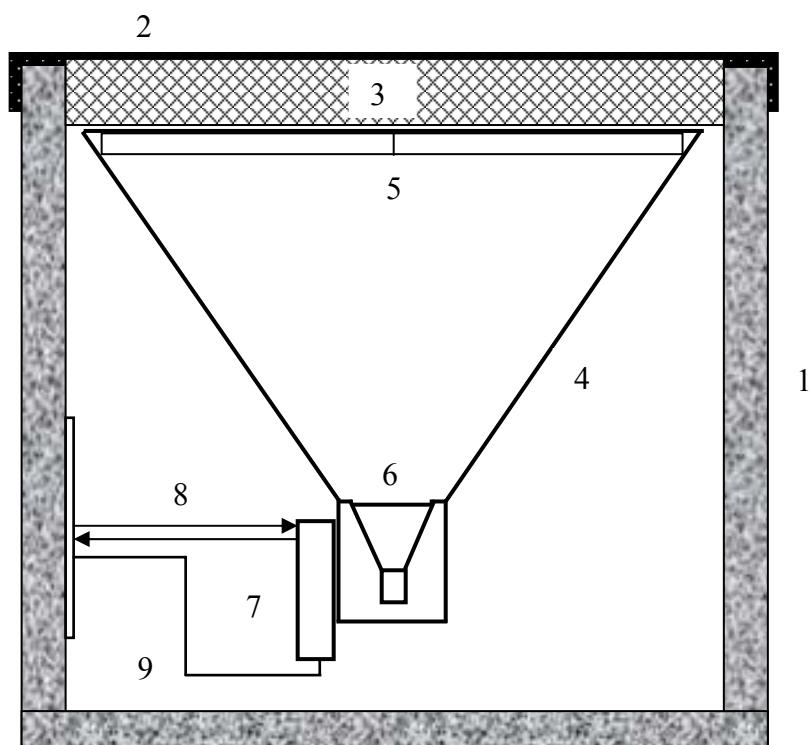


Рис. 2. Конструкция детекторного пункта.

- 1- железобетонный контейнер (бокс)
- 2- крышка бокса
- 3- пенопласт
- 4- пирамидальный кожух
- 5- сцинтилляционные пластины
- 6- фотоумножитель
- 7- блок электроники ДП
- 8- оптоволоконный кабель
- 9- сеть питания 220 В.

Сцинтиляционный детектор (см. рис.2) представляет собой четырёхгранную усеченную пирамиду. Пластический сцинтиллятор помещается в широком основании пирамиды, маленькое окошко в противоположной грани предназначено для ФЭУ-173, размещаемого в узком основании пирамиды. Для улучшения светосбора контейнер покрыт изнутри тонким слоем белой эмали. Коэффициент отражения эмали $K=0,8$ на длине волны $\lambda=4200\text{A}$. Высота пирамиды 800 мм, размер основания пирамиды 1200×1200 мм². Для обеспечения сохранности аппаратуры детектора в полевых условиях, защиты счётчика от прямого воздействия солнечного света, от атмосферных осадков, пыли счётчик и электроника помещаются внутри контейнера. Контейнер представляет собой железобетонный бокс размером $190\times180\times140$ см³ с лёгкой крышей из оцинкованного железа толщиной 1 мм. Изнутри крыша контейнера выложена пенопластовыми плитами толщиной 100 мм, назначение которых теплоизоляция крыши бокса. Толщина вещества (крышка бокса + пенопласт + лист основания пирамиды) над регистрирующей частью детектора составляет менее 0,1 каскадной единицы.

Сцинтиллятор собран из 4 пластин размером $500\times500\times50$ мм³ каждая, изготовленных на основе полистирола с добавками 2% паттерфенила и 0,02% РОРОР. Выбранная геометрия сцинтиляционного счётчика позволила достичь высокой однородности счётчика как по амплитуде сигнала, так и по времени появления сигнала на выходе ФЭУ по отношению ко времени прохождения частицы через сцинтиллятор.

Однородность счётчика по амплитуде сигнала была проверена в опыте с пробным, малым по площади вторым счётчиком, включённым на совпадение с основным счётчиком. Результаты измерения неоднородности светосбора показали, что отношение величины сигнала от частицы, проходящей через центр основного счётчика к величине сигнала от частицы, проходящей через угол квадрата площадью 1 м², оказывается в среднем равным 1,33.

Электроника детекторного пункта.

Данные об амплитуде сигнала с фотоумножителя и времени его возникновения, полученные в ДП, преобразуются в цифровой код и по оптоволоконным кабелям передаются в центральный пункт (ЦП).

Электроника детекторного пункта выполняет следующие функции:

1. Измерение задержки фронта импульса с анода фотоумножителя относительно импульса синхронизации с точностью $\sim 5 \div 8$ наносекунд и передачу в цифровом виде в опорный пункт.
2. Измерение амплитуды импульсов с 9-го и 12-го динодов фотоумножителя, перевод в цифровой вид с помощью аналогоцифрового преобразователя (АЦП) и передачу в опорный пункт.
3. Выполнение следующих команд, поступающих от компьютера центрального пункта:
 - Изменение высокого напряжения на фотоумножителе в пределах 200 вольт с дискретностью ~ 7 вольт.
 - Измерение пьедесталов 2-х каналов АЦП (получение цифровых значений соответствующих нулевым сигналам на входах соответствующих АЦП)
 - Измерение амплитуд импульсов от вспышки светодиода с 9-го и 12-го динодов ФЭУ, что позволяет провести относительную калибровку двух каналов АЦП.

Кроме этого, в одном из ДП расположена компактная метеостанция, подключенная к компьютеру через адаптер RS-232, позволяющая измерять температуру, давление и влажность атмосферы. Структурная схема электроники установки приведена на рис.3.

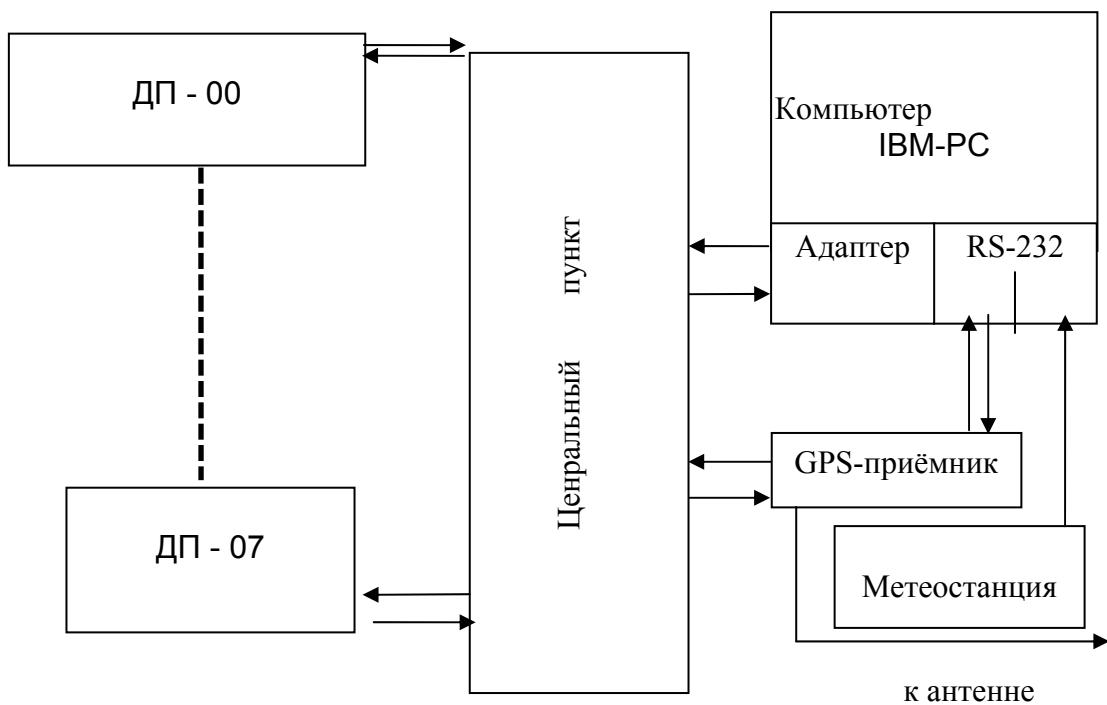


Рис.3. Структурная схема электроники установки ШАЛ

Электроника центрального пункта.

В центральном пункте (ЦП) производится контроль работы каждого ДП, проводится отбор событий ШАЛ и их запись в память компьютера. Из ЦП подаются сигналы синхронизации времени, что позволяет измерять время прихода сигналов ШАЛ в каждом ДП в цифровом виде в единой системе отсчета времени. Из ОП в ДП подаются также команды на запуск калибровочных сигналов на светодиоды и для измерения пьедесталов АЦП для контроля работы амплитудных каналов. Кроме того, предусмотрена возможность при необходимости по команде менять напряжение на ФЭУ.

Таким образом, электроника опорного пункта выполняет следующие функции:

1. Каждые 51.2 микросекунды посылает импульсы синхронизации на все детекторные пункты. Эти импульсы являются опорными для измерения времени срабатывания детектора (времени прохождения частицы или группы частиц через детектор).
2. Передает команды от компьютера в детекторные пункты.
3. Принимает информацию о сработавших детекторных пунктах (результаты временных, амплитудных измерений и контрольную

информацию) и помещает ее в буфер.

4. Осуществляет обмен информацией с компьютером через адаптер.
5. Измеряет время прохождения сигнала по оптическому кабелю от центрального пункта до детекторного пункта и обратно.
6. Осуществляет привязку к мировому времени с помощью GPS-приемника; точность привязки 1мкс.

Амплитудный канал установки.

Установка ШАЛ предназначена для регистрации широких атмосферных ливней космических лучей с энергией более 10^{14} эв. Информация с детекторных пунктов поступает в компьютер, где программно происходит предварительный анализ качества информации и отбор событий ШАЛ. Признаком события ШАЛ является срабатывание четырех детекторов, входящих в любой из трех квадратов установки в течение интервала времени менее 3.2 микросекунд. Все зарегистрированные в течение суток события ШАЛ записываются в отдельный файл, который обрабатывается отдельной программой для оценки параметров ШАЛ: положения оси, направления прихода и полного числа частиц в ШАЛ, которые позволяют оценить энергию первичной частицы вызвавшей данный широкий атмосферный ливень. Для обработки информации по ШАЛ необходимо для всех детекторных пунктов иметь калибровочные данные, которые позволяют получить пересчет от полученных из детекторного пункта кодов двух амплитудных каналов в число релятивистских частиц прошедших через сцинтилляционный детектор.

Типичное распределение амплитуд одиночной релятивистской частицы на выходе фотоумножителя для одного из каналов показано на рис.4. На рис. 4а приведено амплитудное распределение при рабочем напряжении на ФЭУ. На рис. 4б показано амплитудное распределение при напряжении на 100 В выше. При этом напряжении видна шумовая часть спектра и возможна оценка качества ФЭУ.

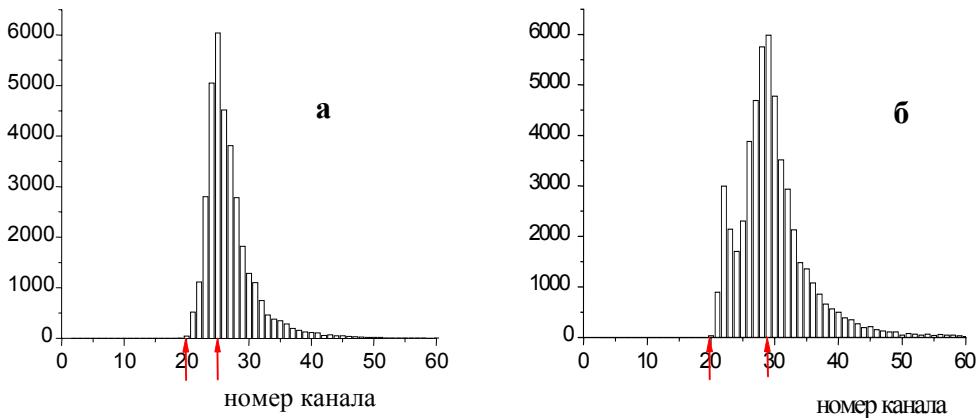


Рис 4. Амплитудное распределение одиночной частицы в сцинтилляционном детекторе.

Отношение пик/долина в амплитудном спектре одиночной частицы в среднем равно 2.5. Относительная полуширина этого распределения на половине высоты максимума составляет 0.35 и вклад распределения пьедестала в это значение не превышает 10%.

Для получения числа частиц, проходящих через сцинтиллятор, используется амплитуда, соответствующая максимуму в спектре одиночной частицы. Амплитудные спектры строятся каждые 1.5 часа. Изменение максимальной амплитуды характеризует стабильность работы аппаратуры. Экспериментально было установлено, что изменение максимальной амплитуды составляет около 1% в течение суток работы.

Контроль работы амплитудных каналов производится по двум параметрам. Во-первых, по абсолютному значению амплитуды, соответствующему ионизационным потерям 10.8 МэВ релятивистской частицы (р.ч.) в пластине сцинтиллятора, которое измеряется как наиболее вероятное значение в спектре амплитуд от одиночных мюонов космических лучей. Во-вторых, контроль работы каналов производился по значению амплитуд в области перекрытия диапазонов двух частей амплитудного канала. Одна часть измеряет амплитуду с 12-го динода ФЭУ (АЦП-2), как наиболее вероятную величину в амплитудном спектре от одиночных мюонов. Область амплитуд, измеряемых АЦП-2, составляет $\approx 0.3 \div 300$ р.ч.

Другая часть амплитудного канала – АЦП-1 - измеряет амплитуду с 9-го динода, где величина импульса приблизительно в 100 раз меньше, чем с 12-го динода, что позволяет работать в области амплитуд, соответствующих $\approx 20 - 10^4$ р.ч. В целом амплитудный канал обеспечивает измерения в динамическом диапазоне от 0.3 до $\approx 10^4$ р.ч. Калибровка амплитудного канала производится с помощью световых вспышек разной длительности создаваемых светодиодом, который запускается по команде из ЦП.

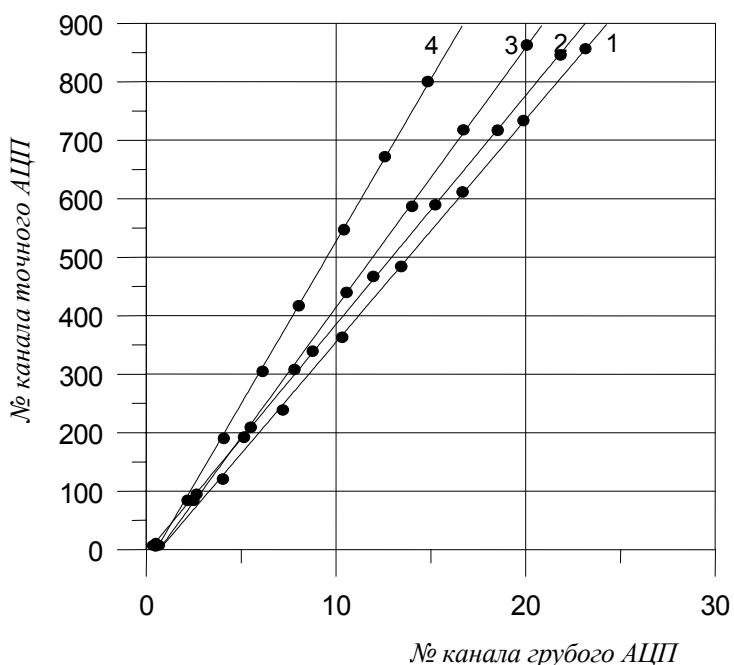


Рис.5. Калибровочные характеристики для четырёх детекторных пунктов, полученные с помощью светодиодной калибровки.

Область от 20 до 300 р.ч. является областью перекрытия АЦП-1 и АЦП-2. Таким образом, зная абсолютную величину амплитуды АЦП-2, соответствующей 1 релятивистской частице, можно произвести калибровку АЦП-1. Пьедесталы обоих АЦП измеряются путем построения спектров АЦП с нулевым уровнем на входах, что достигается путём подачи управляющего сигнала в произвольный момент времени, не связанный с импульсом с фотодумомножителя.

На рис.5 представлены калибровочные характеристики для 4-х детекторных пунктов. По оси X отложены показания грубого АЦП за вычетом значения пьедестала, по оси Y показания точного АЦП за вычетом пьедестала.

Экспериментально установлено, что стабильность во времени калибровочных коэффициентов составляет $\approx 1\div 2\%$.

Цель и описание задачи.

При возникновении события ШАЛ со всех сработавших детекторов установки в компьютер в цифровом виде поступает информация с амплитудных и временных каналов установки. Фактически это 5 чисел.

1. T_{base} – базовое время посылки синхросигнала в детектор.
2. $TDC - 1$ - время от возникновения импульса в сцинтилляционном детекторе до прихода следующего синхросигнала в полном числе сотен наносекунд (грубый счетчик).
3. $TDC - 2$ - время до прихода синхросигнала внутри последней сотни наносекунд с дискретностью примерно 5 наносекунд (точный счётчик).
4. $ADC - 1$ - результат измерения амплитуды с 9-го динода ФЭУ (грубый АЦП).
5. $ADC - 2$ результат измерения амплитуды с 12-го динода ФЭУ (точный АЦП).

Используя эти числа и учитывая измеренные задержки прохождения сигналов от детекторного пункта до центра установки можно сделать вывод об относительном времени этого события и о числе частиц, прошедших через каждый сцинтилляционный детектор. Число частиц N_2 , прошедших через детектор, измеренное точным АЦП (амплитуда импульса A_2) вычисляется по следующей формуле:

$$N_2 = (A_2 - Z_2) / (A_{2max} - Z_2)$$

где

$(A_{2max} - Z_2) = P_2$ число каналов точного АЦП соответствующее одной релятивистской частице.

A_{2max} – положение максимума спектра одиночных мюонов для этого канала.

A_2 – номер канала точного АЦП для данного события.

Z_2 – номер канала соответствующий пьедесталу точного АЦП.

Максимальное измеряемое с помощью точного АЦП число частиц, попавших в детектор, вычисляется с учетом разрядности АЦП (10 разрядов) по следующей формуле:

$$N_{2\max} = (1024 - Z_2) / P_2$$

В случае если амплитуда с ФЭУ достаточно велика и точный АЦП переполняется (это происходит при прохождении более 100-200 частиц через сцинтилляционный детектор), приходится пользоваться грубым АЦП. В этом случае зарегистрированное число частиц определяется следующим образом:

$$N_1 = \frac{<K> \cdot (A_1 - Z_1)}{P_2}$$

A_1 - номер канала грубого АЦП для данного события.

Z_1 - номер канала соответствующий пьедесталу грубого АЦП.

$<K>$ - средний калибровочный коэффициент, полученный из отношения данных первого и второго АЦП для одного и того же световыделения от светодиода в области перекрытия диапазонов.

Максимальная измеряемая плотность частиц с помощью грубого АЦП:

$$N_{1\max} = \frac{<K> \cdot (1024 - Z_1)}{P_2}$$

Из сказанного следует, что для того, чтобы правильно вычислять зарегистрированное детектором число частиц необходимо знать для каждого детекторного пункта следующие калибровочные характеристики:

Z_2 - номер канала соответствующий пьедесталу точного АЦП.

$A_{2\max}$ - положение максимума спектра одиночных мюонов для этого канала

Z_1 - номер канала соответствующий пьедесталу грубого АЦП.

$<K>$ - калибровочный коэффициент, упомянутый выше.

Поскольку результаты обработки существенно зависят от этих калибровочных параметров, измерения этих параметров проводятся каждые 2 часа в процессе работы установки. Для анализа качества работы установки, а также для наладочных работ предназначена программа **WORK**, которая, в частности, позволяет производить набор нескольких типов спектров одновременно для всех детекторов

установки для вычисления калибровочных характеристик.

Перед запуском программы, если это необходимо, нужно произвести загрузку конфигурации в программируемые микросхемы (Xilinx) адаптера сопряжения установки с компьютером и центрального блока установки. Загрузка конфигурации, как и запуск программы **WORK** вынесены в основное меню "Нортон коммандера", вызываемое с помощью клавиши **F2**.

Командный режим работы. При запуске программа входит в следующий диалог с пользователем:

```
===== Work mode selection ==
< s > - Standard mode Spectra Collection
< z > - Zero Spectra Collection
< d > - Light Diode Spectra collection
< v > - Hi_Voltage Setup
< q > - Exit;
Your selection? >
```

При нажатии клавиши с символом **< s >** программа выходит в стандартный режим набора спектров от одиночных мюонов при значении кодов высокого напряжения на всех ФЭУ равного ранее заданному (если коды не заданы - все они равны нулю).

При нажатии клавиши с символом **< z >** программа выходит в режим набора спектров для измерения пьедестала с теми же значениями кода высокого напряжения.

При нажатии клавиши с символом **< d >** программа выходит в режим набора спектров от светодиода с теми же значениями кода высокого напряжения, перед этим она отображает на экране коды светодиодов и просит либо ввести коды длительностей импульсов со светодиодов, либо начать набор спектров с этими кодами. Этот диалог имеет следующий вид:

Default Light Diode Constants: (коды светодиода по умолчанию)

Change Light Diode Setting? (y / n) (изменить установку кодов?)

Если выбрано **< n >** происходит переход в режим набора спектров от светодиода.

Если выбрано **< y >**:

Input Light Diode constant for every detector

Detector number 0 >

и требуется ввести код для детектора с номером 0. Нажатие просто клавиши "Enter" означает ввод нуля и так далее до номера 7. По окончании ввода снова появляется:

Change Light Diode Setting? (y / n)

Ввод **< n >** - переход в режим набора спектров, **< y >** - возможность ввести коды светодиодов заново, при нажатии клавиши с символом **< v >** программа отображает на экране коды высокого напряжения на каждый ФЭУ и просит либо ввести необходимые коды напряжений, либо начать набор спектров с этими кодами. Форма диалога при этом не отличается от описанной выше.

После установки, кодов высокого напряжения и (в случае работы со светодиодами) кодов длительности импульсов на светодиоды программа переходит в режим набора спектров. При этом внизу экрана она печатает режим работы и в правом нижнем углу выводит экспозицию в секундах. В этом режиме нажатие клавиши "**q**" приводит к выходу из программы. Нажатие клавиши "**g**" приостанавливает набор спектров и переводит программу в режим просмотра набранных спектров в графическом режиме.

Режим просмотра спектров:

При переходе в этот режим на экране в графическом виде рисуются оси координат, и в правом нижнем углу производится диалог.

detector number>

Нужно ввести номер выбранного для просмотра спектров детектора (0-7). После этого появляется:

spectra number>

Вводится условный номер спектра

(Для выполнения задачи понадобятся спектры №3 и №4.)

0 - Набор побитного спектра поступающих в компьютер кадров (12 байт)

1 - Набор спектра грубого счетчика ВЦП

2 - Набор спектра точного счетчика ВЦП

3 - Набор спектра с АЦП-2 (9-й динод)

4 - Набор спектра с АЦП-1 (12-й динод)

После этого на экране появляется картинка выбранного спектра и некоторая дополнительная информация. В левом верхнем углу экрана при этом печатается размер шкалы по оси *Y*, далее темп счёта и полное число событий. Масштаб по оси *Y* выбирается автоматически так, чтобы поместился максимальный канал спектра.

Диапазон и масштаб по оси X выбираются тоже автоматически таким образом, чтобы поместился весь спектр от первого до последнего ненулевого канала. Кроме того, существует несколько дополнительных возможностей:

"*q*" - выход из режима просмотра спектров в режим продолжения набора.

"*пробел*" - выход в режим выбора номера детектора и номера спектра

"*w*" - запись всех набранных спектров в файл

"*стрелка вниз*" - уменьшает вертикальный масштаб отображаемого спектра

"*стрелка вверх*" - увеличивает вертикальный масштаб спектра

"*x*" - масштабирование по оси X за исключением спектра № 0.

first channel>

Нужно ввести первый номер канала и нажать "Enter". Если просто нажать "**Enter**" то первый номер канала на оси X будет 0.

channels number>

Вводится число каналов, которое будет отображаться на экране. Если просто нажать "**Enter**" то число каналов будет равно 80.

После этого на экране появляется растянутый по оси X спектр. Здесь возможны следующие команды:

"*q*" - выход из режима просмотра спектров в режим продолжения набора.

"*пробел*" - выход в режим выбора номера детектора и номера спектра

"*w*" - запись всех набранных спектров в файл

"*стрелка вниз*" - уменьшает вертикальный масштаб отображаемого спектра

"*стрелка вверх*" - увеличивает вертикальный масштаб спектра

"*стрелка влево*" сдвигает отображаемый спектр влево на 20% от размера отображаемого окна

"*стрелка вправо*" сдвигает отображаемый спектр вправо на 20% от размера отображаемого окна

"*x*" - масштабирование по оси X .

Ход выполнения задачи.

1. После загрузки программы WORK.EXE проверяется в стандартном режиме набора спектров от одиночных мюонов (режим "s") темп счёта исследуемого детектора (номер детектора указывается преподавателем). Если темп счета отличается от $200 \pm 10\%$ необходимо, выбрать константу высокого напряжения для достижения указанного выше темпа счёта (режим "v") и далее "s".
2. Набрать спектр от одиночных мюонов для данного детектора с выбранной константой высокого примерно в течение 1-2-х минут. При просмотре спектров записать положение максимума спектра, среднеквадратичное отклонение и полное число событий для амплитудного канала с 12-го динода. В случае если программа не определяет среднеквадратичное отклонение – оценить его визуально, как полуширину на полувысоте, предварительно растянув спектр по оси X .
3. Набрать спектр пьедесталов (режим "z") в течение 2-х минут. При просмотре спектров записать положение максимумов спектров, среднеквадратичные отклонения и полные числа событий для амплитудных каналов с 9-го и 12-го динодов.
4. Набрать восемь раз спектры с использованием светодиода, каждый раз меняя константу светодиодного импульса примерно по 2 минуты. Константа напряжения при этом должна быть равна определённой ранее. Во всех восьми случаях, при просмотре спектров записать положение максимумов спектров, среднеквадратичные отклонения и полные числа событий для амплитудных каналов с 9-го и 12-го динодов. (Если спектр с 12-го динода при некоторой константе зашкаливает – набор спектров от светодиодов прекращается). Построить график соответствия максимумов спектров по 9-му и 12-му динодам в области перекрытия, нанести на графике ошибки. По оси X откладывается $(A_{1i} - Z_1)$ и по оси Y – $(A_{2i} - Z_2)$. Из графика получить значение среднего калибровочного коэффициента $\langle K \rangle$ – число каналов точного АЦП, соответствующее одному каналу грубого АЦП.

$$\langle K \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{A_{1i} - Z_1}{A_{2i} - Z_2}, \quad n \text{ – число точек.}$$

Полученной информации достаточно для вычисления всех

калибровочных параметров.

Представляемый для отчёта материал:

1. таблица измерений.
2. график зависимости показаний для двух каналов АЦП.
3. таблица значений калибровочных параметров.

Z_2 - номер канала, соответствующий пьедесталу точного АЦП.

A_{2max} - положение максимума спектра одиночных мюонов для этого канала.

P_2 - число каналов точного АЦП, соответствующее одной релятивистской частице.

Z_1 - номер канала соответствующий пьедесталу грубого АЦП.

$\langle K \rangle$ - средний калибровочный коэффициент, полученный из сопоставления данных первого и второго АЦП в области перекрытия.

4. диапазоны измерения числа частиц, попавших в детектор, для точного и для грубого каналов АЦП.

Бланки для таблицы измерений и таблицы результатов предоставляются преподавателем (см. приложение). График зависимости строится на компьютере в программе GRAF4WIN либо MSEXEL и распечатывается на принтере.

Литература

1. Г.Б Христиансен, Г.В. Куликов, Ю.А. Фомин, “Космическое излучение сверхвысокой энергии”. - М.: Атомиздат, 1975.
2. В.Б. Атрашкевич, О.В. Веденеев, М.Ю. Зотов и др. “Прототип установки ШАЛ-1000, первые результаты”. –М.: Изд-во Моск. ун-та, Препринт 98-53/554, НИИЯФ МГУ, 1998г,50с.
3. Н.Н. Калмыков “Космические лучи сверхвысоких энергий”, Сборники лекций по проблемам физики космических лучей высоких и сверхвысоких энергий, ч.1, –М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001 г., 5-52.

Приложение. Формы таблиц измерений и записи результатов.

ФИО

Дата

Таблица измерений.

9-й динод - (№ спектра 3)
12-й динод - (№ спектра 4)

Номер детектора ____
Константа высокого ____

Тип спектра	Константа светодиода	Положение максимума	Ср. Квадр. отклонение	Число событий
Z(12)				
Z(9)				
S(12)				
D(12)	0			
D(9)	0			
D(12)	1			
D(9)	1			
D(12)	2			
D(9)	2			
D(12)	3			
D(9)	3			
D(12)	4			
D(9)	4			
D(12)	5			
D(9)	5			
D(12)	6			
D(9)	6			
D(12)	7			
D(9)	7			

ФИО

Дата

Таблица результатов

Пьедестал точного АЦП

$Z_1 = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$

Пьедестал грубого АЦП

$Z_2 = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$

**Максимум спектра
одиночных мюонов**

$A_{1max} = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$

**Число каналов точного АЦП,
соответств. 1-й рел. частице $P_1 = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$**

**Средний калибровочный
коэффициент**

$\langle K \rangle = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}}$

Диапазон точного АЦП

от частиц до

Диапазон грубого АЦП

от частиц до