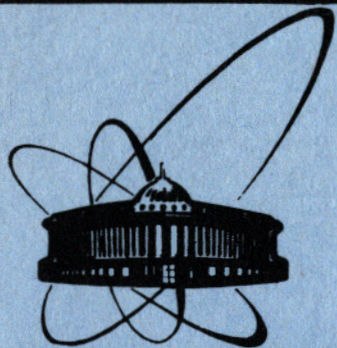


84-676



ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

13-84-676

ДЕТЕКТОР ПОЛНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ГАММА-КВАНТОВ  
НА ОСНОВЕ КРИСТАЛЛА CsJ(Tl)

Направлено в журнал  
"Приборы и техника эксперимента"

1984

Н.К.Булгаков, И.Войтковска, В.М.Головатюк, З.Гузик, Н.И.Зимин,  
Р.Б.Кадыров, Т.С.Нигманов, В.Д.Рябцов, И.А.Тяпкин, Д.В.Уральский,  
Н.А.Филатова, Э.Н.Цыганов, М.Д.Шафранов  
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

А.Форуцки  
Институт ядерных исследований, Свэрк, ПНР

М.Д.Бавижев  
Ставропольский политехнический институт, г.Черкесск

Г.Д.Коваленко, Б.И.Шраменко  
Харьковский физико-технический институт

И.Н.Ивахненко, Ю.В.Нильсен, Б.А.Юрьев  
Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

## ВВЕДЕНИЕ

В работе/1/ приведено описание установки, созданной для исследования излучения, возникающего при взаимодействии электронов и позитронов с монокристаллами. Эксперимент проводился на пучке с энергией 10 ГэВ/2/. Энергия гамма-квантов, излученных каналированными частицами, измерялась нижеописанным ливневым сцинтилляционным гамма-спектрометром. Чтобы исследовать истинные энергетические спектры, использовали тонкие /~100 мкм/ образцы монокристаллических мишеней. Ожидаемая вероятность излучения на такой толщине много меньше единицы, что давало возможность регистрировать однократные акты излучения. Однако это накладывало жесткие требования как на работу гамма-спектрометра, так и на фоновые условия во время измерений. Поэтому в эксперименте фоновое вещество на пути частиц было минимизировано до уровня  $5 \times 10^{-4}$  радиационных единиц.

В качестве координатных детекторов в данном эксперименте использовались дрейфовые камеры с высоким пространственным разрешением/3/, в том числе дрейфовая камера низкого давления/4/, а также дрейфовая камера с встроенным конвертором, позволившая непосредственно измерять углы гамма-квантов/5/. Это позволило впервые провести прецизионные измерения энергетических спектров излучения, возникающего при взаимодействии электронов и позитронов с монокристаллами и проследить зависимость этих спектров от угловых характеристик потока частиц.

Обычно для измерения энергии гамма-квантов в области до и выше 100 МэВ используются ливневые спектрометры/6/, в которых энергия частицы оценивается по черенковскому, либо по сцинтилляционному излучению заряженных частиц электрон-фотонного ливня. При этом энергетическое разрешение сцинтилляционных спектрометров лучше /особенно в области низких энергий/, чем у черенковских спектрометров. В данном эксперименте использовался гамма-спектрометр на основе сцинтиллирующего кристалла CsJ(Tl).

В настоящей работе описаны конструкция гамма-спектрометра, выбранный режим работы фотоэлектронного умножителя, а также съем информации в рабочем режиме работы спектрометра.

## КОНСТРУКЦИЯ СПЕКТРОМЕТРА

Гамма-спектрометр /рис.1/ представляет собой сцинтилляционный счетчик, радиатором которого является кристалл Cs(Tl) /1/, помещенный в специальный защитный контейнер. Радиатор с одного

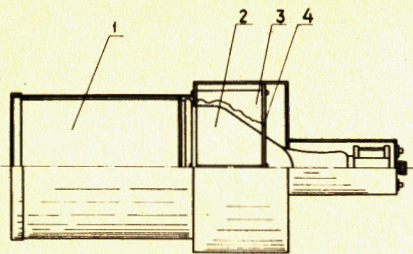
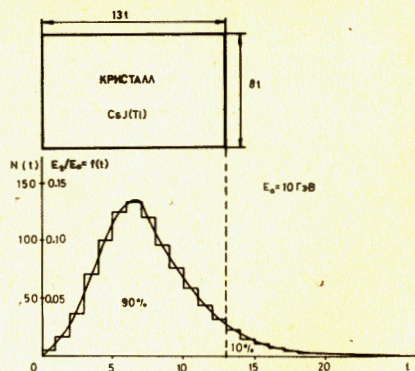


Рис.1. Конструкция спектрометра.

Рис.2. Энергетические потери в веществе CsJ(Tl).



из торцов просматривался фотоумножителем типа ФЭУ-49 /2/ с диаметром фотокатода 150 мм. Оптический контакт между фотоумножителем и радиатором обеспечивался применением силиконовой смазки и механическим поджатием с помощью накидного кольца /4/. Для защиты от воздействия рассеянных магнитных полей начальная часть фотоумножителя окружалась магнитным экраном /3/.

Точность измерения энергии падающего гамма-кванта ливневым сцинтилляционным спектрометром определяется размерами радиатора. В описываемом спектрометре применялся кристалл цилиндрической формы длиной 230 мм и диаметром 150 мм. Численная оценка возможной верхней границы измерения энергии таким кристаллом сделана с учетом двух предположений:

- 1/ амплитуда импульса, снимаемого с фотоумножителя, пропорциональна полному количеству света, образованному в радиаторе;
- 2/ полное количество полученного света пропорционально суммарной длине треков всех заряженных частиц, образовавшихся в ливне и, следовательно, пропорционально энергии самого регистрируемого гамма-кванта.

На рис.2 представлены энергетические потери в веществе CsJ(Tl) в зависимости от глубины развития каскадного ливня. Плавная кривая представляет собой полное число частиц в ливне, образованном гамма-квантом с энергией 10 ГэВ, как функцию толщины радиатора /в рад.единицах/. Кривая рассчитана с учетом потерь энергии на ионизацию частицами ливня /7,8/. Ступенчатая кривая представляет собой зависимость отношения средних энергетических потерь на одной радиационной длине к полной энергии ливня от толщины радиатора. Для наглядности на рис.2 показаны размеры используемого кристалла. Как видно из рисунка, используемый кристалл способен поглотить до 90% энергии ливня, вызванного гамма-квантом с начальной энергией 10 ГэВ. Таким образом, применяемый кристалл пригоден для измерения энергии фотонов вплоть до 10 ГэВ. Однако, в соответствии с работой /9/, неполное поглощение начальной энер-

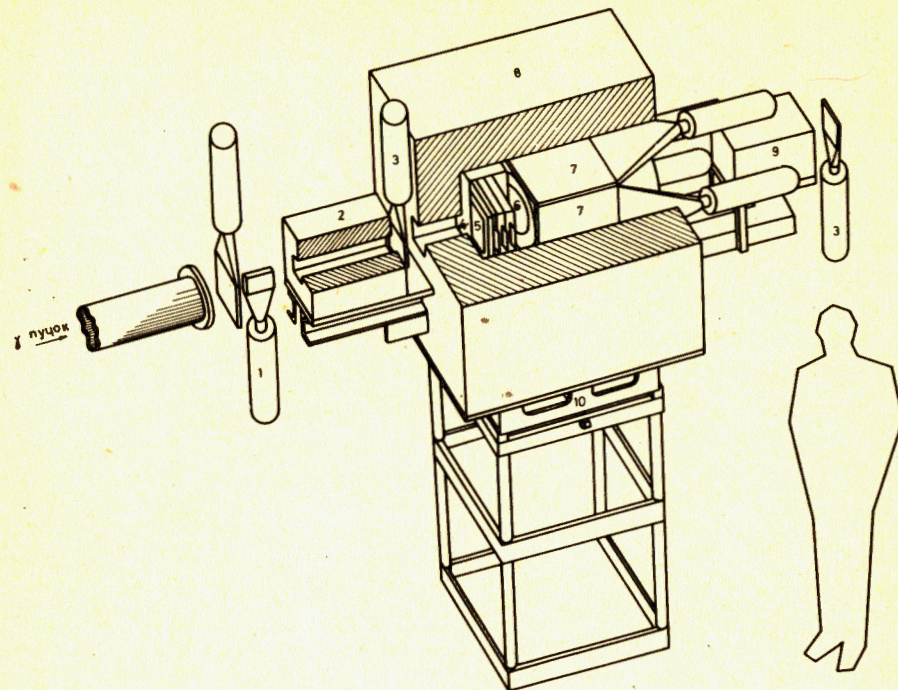


Рис.3. Общий вид гамма-спектрометрического комплекса. 1 - сцинтилляционный гамма-счетчик типа "сэндвич" для снятия профиля гамма-пучка, 2 - коллиматор, 3 - счетчики мюонного запуска, 4 - экран дрейфовой камеры, 5 - дрейфовая камера с встроенным конвертором для измерения углов вылета гамма-квантов, 6 - гамма-спектрометр, 7 - противофонные сцинтилляционные счетчики, 8 - свинцовая защита, 9 - мюонный фильтр.

гии гамма-кванта должно привести к десятипроцентному ухудшению разрешения и линейности спектрометра, что подтверждается экспериментально.

Весь комплекс детекторов для измерения энергетических и угловых характеристик пучка гамма-квантов был собран на единой подвижной платформе и окружен свинцовой защитой. Общий вид компоновки детекторов гамма-спектрометрического комплекса приведен на рис.3.

#### РЕЖИМ РАБОТЫ ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ

Максимальная анодная чувствительность ФЭУ-49 достигается при напряжении питания порядка 2000 В, рекомендуемом в качестве рабочего напряжения. При этом напряжении на ФЭУ спектрометр имел

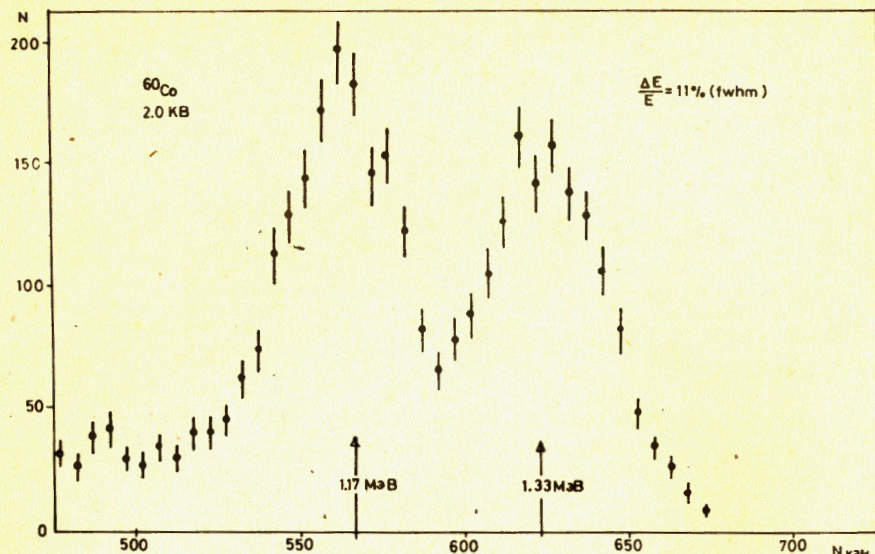


Рис.4. Энергетический спектр гамма-квантов от источника  $^{60}\text{Co}$  при напряжении питания на ФЭУ-49, равном 2000 В.

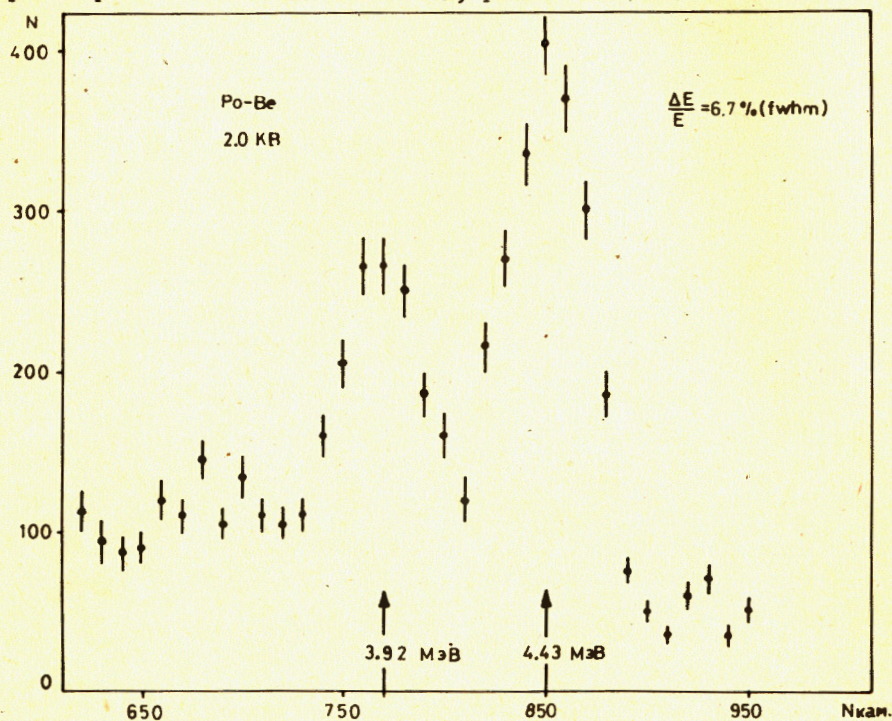


Рис.5. Энергетический спектр гамма-квантов от источника Po-Be при напряжении питания на ФЭУ-49, равном 2000 В.

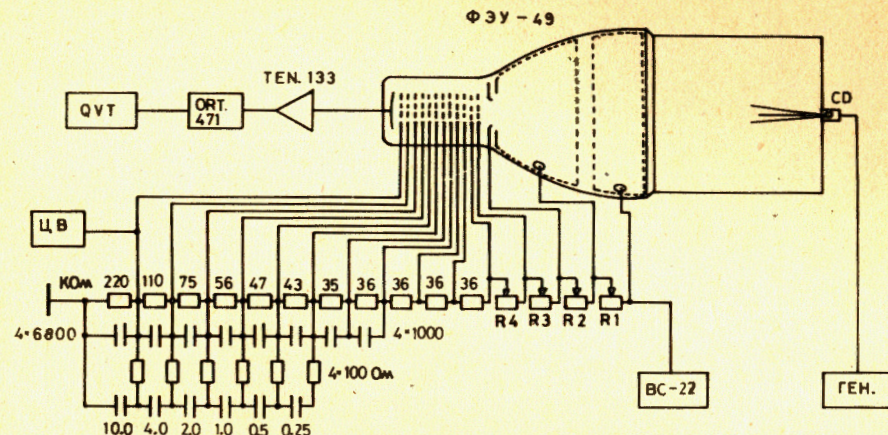


Рис.6. Схема стенда для подбора режимов работы фотоумножителя ФЭУ-49. СД - светодиод, ГЕН - генератор импульсов, BC-22 - высоковольтный источник питания, TEN.133 - спектрометрический предусилитель типа TENNELEC-133, ORT 471 - спектрометрический усилитель типа ORTEC-471, QVT - анализатор типа LRS-6200, ЦВ - цифровой вольтметр. Окончательно подобранные значения сопротивлений R1, R2, R3, R4 равны соответственно 29, 414, 36, 79 кОм.

наилучшее энергетическое разрешение, которое определялось с помощью радиоактивных источников  $^{60}\text{Co}$  и Po-Be. Так, для гамма-излучения  $^{60}\text{Co}$  ( $E_\gamma = 1,33$  МэВ) разрешение составляло 11%, а для гамма-излучения Po-Be ( $E_\gamma = 4,43$  МэВ) - 6,7% /рис.4,5/.

С целью эффективного использования времени, отведенного для работы на ускорителе, измерения проводились одновременно во всем диапазоне энергий. В таких условиях работа фотоумножителя затруднена даже при сравнительно невысоких нагрузках /~50 кГц/. С одной стороны, для регистрации низкоэнергетических гамма-квантов с хорошим разрешением необходим полный набор фотозлектронов, в то же время регистрация высокоэнергетических гамма-квантов связана с генерацией такого количества света, которое приводит к перегрузке и нестабильности ФЭУ. Успешное решение проблемы заключалось в понижении усиления ФЭУ с одновременным увеличением коэффициента усиления спектрометрической электроники. В связи с этим были проведены исследования по подбору специального режима работы ФЭУ-49, расширяющего его динамический диапазон до нужных пределов с сохранением стабильности усиления и получением оптимального разрешения.

Подбор режимов производился на специальном стенде, электрическая схема которого приведена на рис.6. Загрузка ФЭУ имитировалась светодиодом, на который подавались импульсы от генератора с регулируемой амплитудой и частотой. Свет от светодиода калиб-

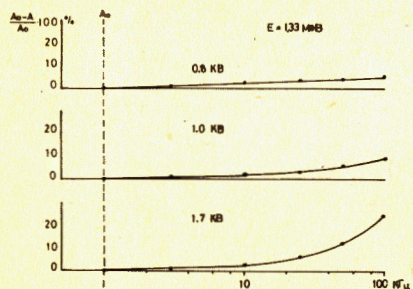


Рис.7. Зависимость относительного изменения амплитуды импульса с ФЭУ-49 от частоты загрузки и приложенного напряжения для энергии 1,33 МэВ.

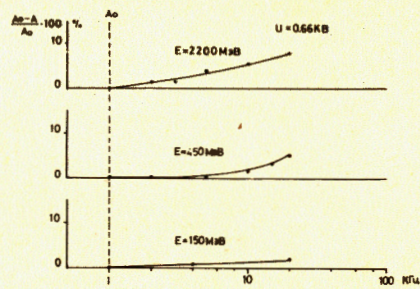


Рис.8. Зависимость относительного изменения амплитуды импульса с ФЭУ-49 от частоты загрузки при напряжении питания на ФЭУ, равном 660 В, для различных энергий.

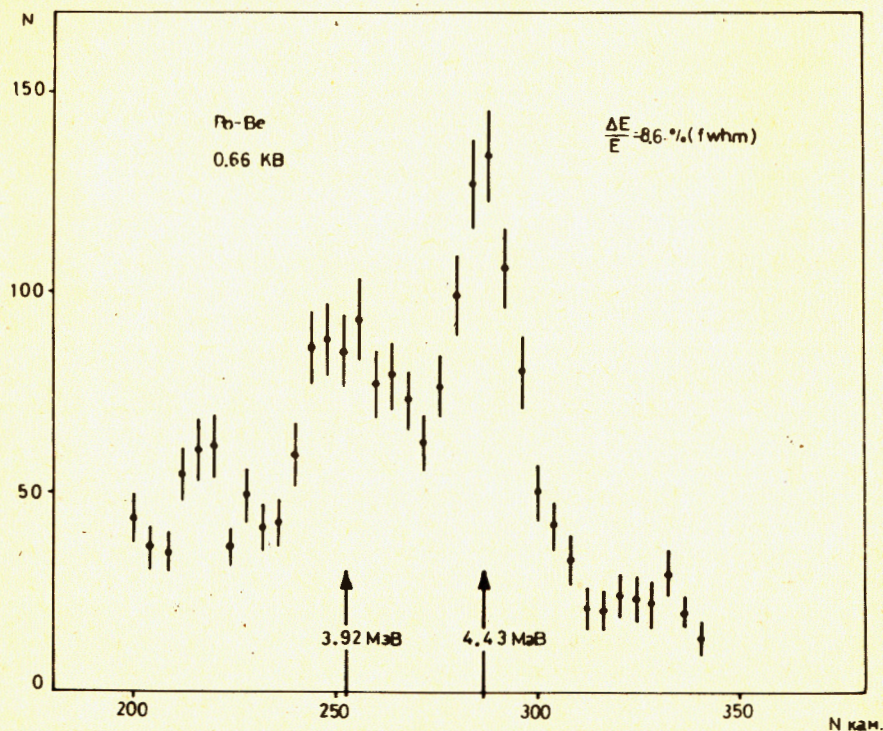


Рис.9. Энергетический спектр гамма-квантов от источника Po-Be при напряжении питания на ФЭУ-49, равном 660 В.

ровался в единицах энергии по радиоактивным источникам. Усиленный сигнал с ФЭУ подавался на анализатор. Ток, протекающий че-

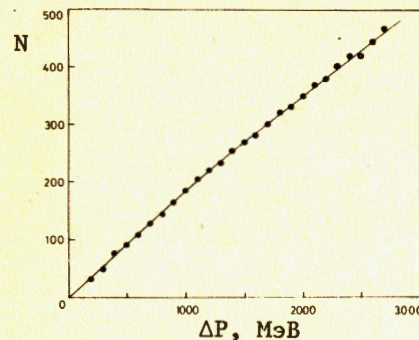


Рис.10. Калибровка гамма-спектрометра методом "меченых" фотонов. По оси абсцисс отложена разность  $\Delta P = (P_0 - P)$ , где  $P_0$  - средний импульс пучка,  $P$  - импульс вторичного электрона. По оси ординат отложены отсчеты диодного тракта гамма-спектрометра. Данные получены во время набора статистики с монокристаллом кремния толщиной 50 мкм.

рез делитель, контролировался по разности потенциалов на последнем сопротивлении с помощью цифрового вольтметра.

Проведенная проверка показала, что усиление ФЭУ действительно изменяется при изменении частоты загрузки. Было определено, что стабильность усиления улучшается при уменьшении общего напряжения на ФЭУ /рис.7/, однако при этом ухудшается энергетическое разрешение. Так как нестабильность усиления ФЭУ при изменении загрузки, очевидно, связана в первую очередь с тепловыми процессами на последних диодах ФЭУ, а разрешение определяется, в основном, фокусирующими свойствами первых электродов, было решено подобрать режимы питания этих частей ФЭУ отдельно. В результате был выбран следующий режим питания /см.рис.6/: общее напряжение - 660 В, разность потенциалов на промежутках фотокатод-модулятор (R1) - 15,2 В, модулятор-кольцо (R2) - 209 В, кольцо - 1 диод (R3) - 18,4 В, 1 диод - 2 диод (R4) - 39,7 В. Интересно, что в этом случае режим питания первых электродов незначительно отличается от стандартного, паспортного режима ФЭУ-49. Указанный режим практически обеспечил независимость усиления ФЭУ от загрузки. Относительное изменение усиления не превышало 8% при изменении частоты загрузки от 1 до 20 кГц /рис.8/. Энергетическое разрешение для гамма-квантов с энергией 4,43 МэВ при этом напряжении ухудшилось всего на 20% /рис.9/.

Нелинейность спектрометра в области энергий до 3 ГэВ проверялась по корреляции потерь энергии электронами в монокристаллической мишени и отсчетами гамма-спектрометра /рис.10/. Кривая на рис.10 хорошо описывается полиномом третьей степени; нелинейность ее не превышает 10%.

#### СЪЕМ ИНФОРМАЦИИ С ГАММА-СПЕКТРОМЕТРА В РАБОЧЕМ РЕЖИМЕ

Схема съема информации с гамма-спектрометра представлена на рис.11. Сигналы с ФЭУ регистрировались одновременно по двум спектрометрическим трактам. Тракт, в котором сигнал снимался с анода ФЭУ, обеспечивал измерение энергии до 1 ГэВ. Диодный

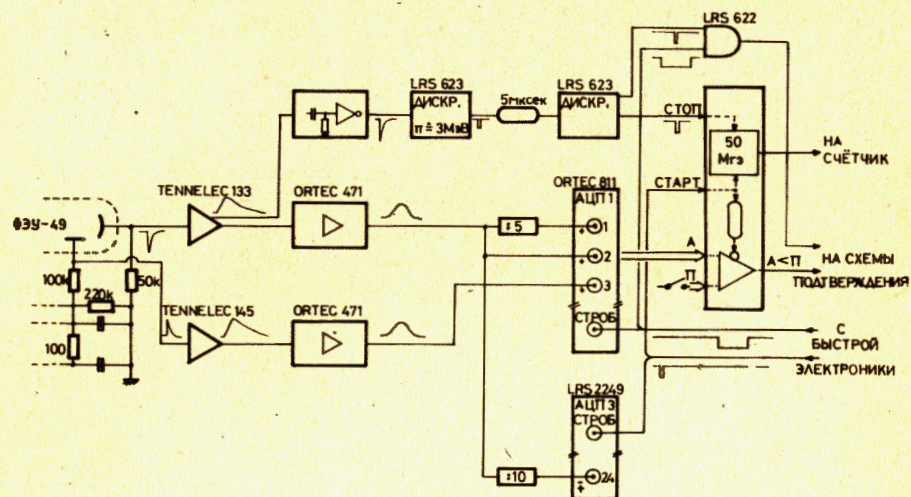


Рис.11. Схема съема информации с гамма-спектрометра.

тракт, в котором сигнал снимался с последнего динода ФЭУ и регистрировался третьим амплитудно-цифровым преобразователем /АЦП/ типа ORTEC 811, имел рабочий диапазон до 10 ГэВ. Полный диапазон второго АЦП анодного тракта соответствовал энергии 200 МэВ, поэтому для регистрации гамма-квантов с энергией до 1 ГэВ сигнал далее делился в отношении 1:5 и поступал на первый АЦП. Таким образом, регистрация гамма-кванта производилась одновременно в трех диапазонах:  $10 \div 200$  МэВ,  $10 \div 1000$  МэВ,  $10 \div 10000$  МэВ с ценой отсчета 0,1; 0,5; 5 МэВ на канал соответственно.

Дополнительно в системе съема информации с гамма-спектрометра был организован временной тракт, в котором сигнал с быстрого выхода анодного предусилителя TENNELEC 133 /см.рис.11/ преобразовывался в логический импульс. Этот импульс определял момент прохождения частицы через спектрометр. Регистрация момента времени осуществлялась с помощью времяцифрового преобразователя /ВЦП/ с ценой отсчета 20 нс. Условие отбора требовало попадания сигналов от гамма-квантов в интервал  $0 \div 0,25$  мкс и отсутствия их в интервале  $-5 \div -0,25$  мкс/10/. Использование информации с временного тракта позволило в последующем анализе данных примерно в 100 раз улучшить эффективность отбора полезных событий.

При работе в широком динамическом диапазоне и достаточно больших нагрузках возможны искажения амплитуды полезного сигнала из-за дрейфа "нулевого" потенциала спектрометрического тракта. Для устранения этих искажений производились измерения с помощью АЦП типа LRS2249 /см.рис.11/ "нулевого" потенциала каждого спектрометрического тракта за 2 мкс до рабочего сигнала. При обработке данных эта информация использовалась для коррекции амплитуды полезного сигнала.

Контроль долговременных нестабильностей спектрометрических трактов осуществлялся по информации об ионизационных потерях фоновых  $\mu$ -мезонов в радиаторе гамма-спектрометра. С этой целью каждый шестнадцатый запуск установки производился от счетчиков мюонного запуска /рис.3/, включенных на совпадение. Мягкая компонента  $\mu$ -мезонов / $E = 1$  ГэВ/ отсекалась поглощающим фильтром.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксперимента гамма-спектрометр проработал в общей сложности около 1000 ч. Выбранный режим обеспечил надежную работу спектрометра. Нестабильность работы спектрометра за указанный период не превышала 3%.

Авторы благодарят Л.Г.Макарова, А.А.Олейника, Г.А.Варганова, а также коллектив цеха опытного производства ЛВЭ ОИЯИ за постоянное содействие и помощь в работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Водопьянов А.С. и др. ОИЯИ, P13-82-54, Дубна, 1982.
2. Бавижев М.Д. и др. Препринт ИФВЭ, 82-74 ОП, Серпухов, 1982.
3. Filatova N.A. et al. Nucl.Instr. and Meth., 1977, p.143.
4. Войтковска И. и др. ОИЯИ, P13-82-374, Дубна, 1982.
5. Бавижев М.Д. и др. ОИЯИ, P13-81-644, Дубна, 1981.
6. Зрелов В.П. Излучение Вавилова-Черенкова и его применение в физике высоких энергий. Атомиздат, М., 1968, ч.2.
7. Беленький С.З. Лавинные процессы в космических лучах. Гостехиздат, М., 1948.
8. Росси Б. Частицы больших энергий. Гостехиздат, М., 1955.
9. Люк К.Л. Юань, Ву Цзян-Сюн. Методы измерения основных величин ядерной физики. "Мир", М., 1964.
10. Гузик З. и др. ОИЯИ, 1-82-865, Дубна, 1982.

Рукопись поступила в издательский отдел  
17 октября 1984 года.

Булгаков Н.К. и др.

13-84-676

Детектор полного поглощения  
для измерения энергии гамма-квантов  
на основе кристалла CsJ(Tl)

Описан ливневый сцинтилляционный гамма-спектрометр полного поглощения. Спектрометр предназначался для измерения энергии гамма-квантов, образующихся в процессе взаимодействия релятивистских частиц с монокристаллами. Детектор выполнен на основе кристалла CsJ(Tl)\*, который просматривался фотоумножителем ФЭУ-49, работающим при напряжении 660 В. Динамический диапазон измерения энергии гамма-квантов составлял от 10 до  $10^4$  МэВ. При этом его энергетическое разрешение было на уровне 9% для гамма-квантов с энергией 4,43 МэВ.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Bulgakov N.K. et al.

13-84-676

The Detector of Total Absorption  
for Measuring the Energy of Gamma-Quanta  
Using CsJ(Tl) Crystal

A shower scintillation total absorption gamma-spectrometer is described. The spectrometer was intended to measure the energy of gamma-quanta due to the channeling of high energy particles in a single crystal. The detector is made using a CsJ(Tl) crystal. The crystal was looked through by a FEU-49 photomultiplier which operated at 660 V. The dynamic range measuring the energy of gamma quanta was from 10 to  $10^4$  MeV and the energy resolution of the spectrometer was at a level of 9% for 4.43 MeV gamma-quanta.

The investigation has been performed at the Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984