

СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



СЗ44.141  
Б-201

17/2-77  
P13 - 10874

4159/2-77

М.П.Баландин, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов,  
Т.Козловски, А.Д.Конин

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АСИММЕТРИИ  
ВЫЛЕТА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
ПРИ ЗАХВАТЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ ЯДРАМИ

**1977**

P13 - 10874

М.П.Баландин, В.М.Гребенюк, В.Г.Зинов,  
Т.Козловски,\* А.Д.Конин

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ АСИММЕТРИИ  
ВЫЛЕТА ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ  
ПРИ ЗАХВАТЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ ЯДРАМИ

---

\* Институт ядерных исследований, Свердловск, ПИЯФ.

Баландин М.П. и др.

P13 - 10874

Установка для измерения асимметрии вылета заряженных частиц при захвате отрицательных мюонов ядрами

Описывается светосильная установка, включающая пропорциональные камеры для измерения ионизационных потерь заряженных частиц, и спектрометр на основе кристалла  $CsJ(Tl)$  для измерения их энергии. Измерение асимметрии для разделенных по массам однозарядных частиц основано на методе прецессии спина в слабом магнитном поле.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

**Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977**

Balandin M.P. et al.

P13 - 10874

Mounting to Measure Asymmetry of Charged Particle Emission at the Capture of Negative Muons by Nuclei

A high aperture mounting including proportional counters to measure ionization losses of charged particles and a spectrometer based on  $CsJ(Tl)$  crystal for measuring their energy are described. The measurement of asymmetry for separated by masses single-charged particles is based on the method of spin precession in a low magnetic field.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

**Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977**

Первые наши эксперименты по измерению энергетических спектров заряженных частиц /1/ имели своей целью оценку уровня эффекта. К настоящему моменту появилась возможность заняться изучением более тонких эффектов мю-захвата: измерением асимметрии вылета заряженных частиц. Это достигнуто в основном за счет увеличения светосилы установки в целом. Мы сохранили возможность разделения заряженных частиц по массам и измерения их энергетических спектров.

### **ОБЩАЯ СХЕМА УСТАНОВКИ**

Установка /рис. 1/ включает в себя следующие основные элементы. Сцинтилляционные счетчики 1,2 размером  $14 \times 14 \times 1$  см<sup>3</sup> и  $12 \times 12 \times 1$  см<sup>3</sup> соответственно, необходимые для контроля интенсивности исходного пучка частиц. В работе использовались отрицательные мюоны с импульсом  $130$  МэВ/с на выходе мюонного тракта. Интенсивность полезной части растянутого по времени пучка составляла  $18 \times 10^3$  мюонов/с со свинцовым коллиматором  $10$  диаметром  $10$  см. Дополнительное формирование пучка осуществлялось латунным коллиматором 11. Мюоны останавливались в мишени М после торможения в масляном 12 и полиэтиленовом 13 фильтрах. Тонкие пропорциональные счетчики 3 и 4 размером  $\varnothing 9 \times 1$  см и  $\varnothing 14 \times 1$  см соответственно позволяли выделить акт остановки мюона в мишени. Пропорциональными счетчиками 5,6,7 размером  $\varnothing 11 \times 4,8$  см каждый измерялись ионизационные потери частиц, вылетевших из мишени. Энергия

измерялась с помощью спектрометра  $CsJ(Tl)$  размером  $\Phi 12 \times 2,4$  см. С помощью медного кольца 9 перед кристаллом спектрометра задавалась апертура при регистрации заряженных частиц. Катушками Гельмгольца 15 в сочетании с магнитным экраном 16 формировалось магнитное поле величиной 116 эрстед с однородностью не хуже 2% во всем объеме мишени. Плексигласовым световодом 17 длиной 34 см фотоумножитель 18 АVP-58 выводится из области сильного магнитного поля.

Далее коротко коснемся особенностей конструкции отдельных элементов установки.

### **МАСЛЯНЫЙ ФИЛЬТР**

Подбор максимума остановок мюонов в мишени проводится с помощью фильтра 13. Как видно из схемы, он расположен в труднодоступном месте. Поэтому конструктивно фильтр выполнен в виде двух сообщающихся цилиндров с подвижным внутренним дном /поршнем/. В цилиндры залито веретенное масло. Один, рабочий цилиндр расположен на пучке внутри установки, другой закреплен вне магнитного экрана. Перемещение поршня наружного цилиндра приводит к соответствующему перемещению поршня внутреннего цилиндра, т.е. изменяет толщину фильтра. Неточность установки толщины фильтра не хуже  $20 \text{ мГ/см}^2$ .

### **ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОСТАНОВОК МЮОНОВ**

Выделение остановок мюонов в тонких мишенях /150-200  $\text{мГ/см}^2$ / представляет серьезную методическую проблему. Требования к детекторам здесь весьма трудные: практически стопроцентная эффективность регистрации заряженных частиц, малое количество вещества, малое  $Z$ , высокое быстродействие, хорошее временное разрешение. Для решения стоявшей перед нами задачи мы выбрали пропорциональные камеры. Основное естествен-

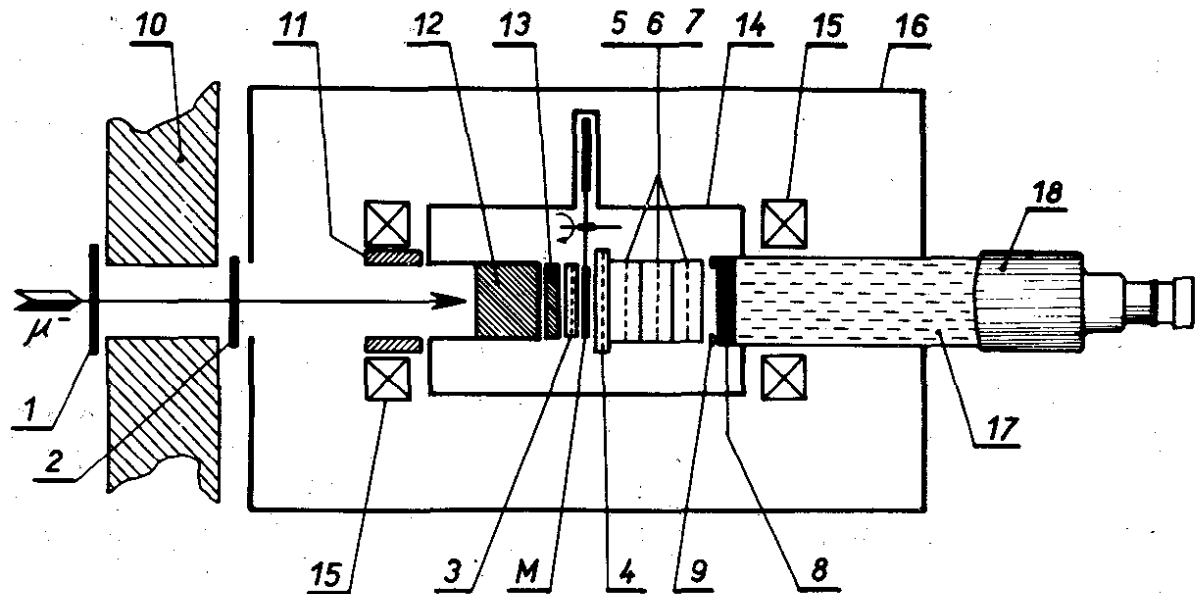


Рис. 1. Общая схема установки. 1,2 - сцинтилляторы мониторных счетчиков; 3,4 - пропорциональные камеры выделения остановок мюонов в сменной мишени М; 5,6,7 - пропорциональные камеры для измерения  $\Delta E$ ; 8 - кристалл CsJ(Tl); 9 - медное кольцо; 10 - лобовая защита из свинца; 11 - входной коллиматор; 12 - масляный фильтр; 13 - полиэтиленовый фильтр; 14 - корпус из нержавеющей стали; 15 - катушки Гельмгольца; 16 - магнитный экран; 17 - световод; 18 - ФЭУ.

ное их отличие от тех, которые предназначены для измерения ионизационных потерь, - малые межэлектродные размеры. Анодные электроды выполнены из вольфрамовой проволоки  $\varnothing 12,5$  мкм. Анодные нити входной камеры 3 намотаны с шагом 2 мм на кольцо из нержавеющей стали с внутренним диаметром 10 см, а выходной камеры 4, предназначенной для антисовпадений, - на кольцо диаметром 14 см. Зазоры между плоскостью нитей и катодами /алюминированный лавсан толщиной 12 мкм/ сделаны по 6 мм.

Вблизи анодных колец газового усиления нет из-за низкой напряженности электрического поля. Как показали измерения, эффективный рабочий диаметр камер на 1 см меньше диаметра колец. Это важно, так как в таком случае входная камера 3 не регистрирует мюоны, останавливающиеся при косом влете в материале ее анодного кольца.

В итоге общая толщина вещества на пути пучка, остановки мюонов в котором мы не можем устранить, составляет  $8 \text{ мг/см}^2$  в пересчете на  $\text{CH}_2$ .

На рис. 2 приведена кривая задержанных антисовпадений, характеризующих качество совместной работы камер 3 и 4 при выделении остановок мюонов.

Кривая снята в рабочих условиях на пучке пролетных мюонов: фильтр 12 и мишень М убраны, порог дискриминатора импульсов камеры 3 установлен максимально возможным /т.е. еще нет влияния на счет остановок с введенными мишенью и фильтром/, а порог дискриминатора импульсов камеры 4 установлен минимально возможным /т.е. эффективность выделения пролетных мюонов перестала меняться/.

Достигнутая неэффективность выделения остановок мюонов 0,2% есть физический предел установки. По нашим оценкам, он в основном обусловлен остановками мюонов в газе и стенках камер 3 и 4. В рабочих сеансах с мишенью из серы толщиной  $200 \text{ мг/см}^2$  мы имели 300 остановок мюонов в секунду, без мишени - 15.

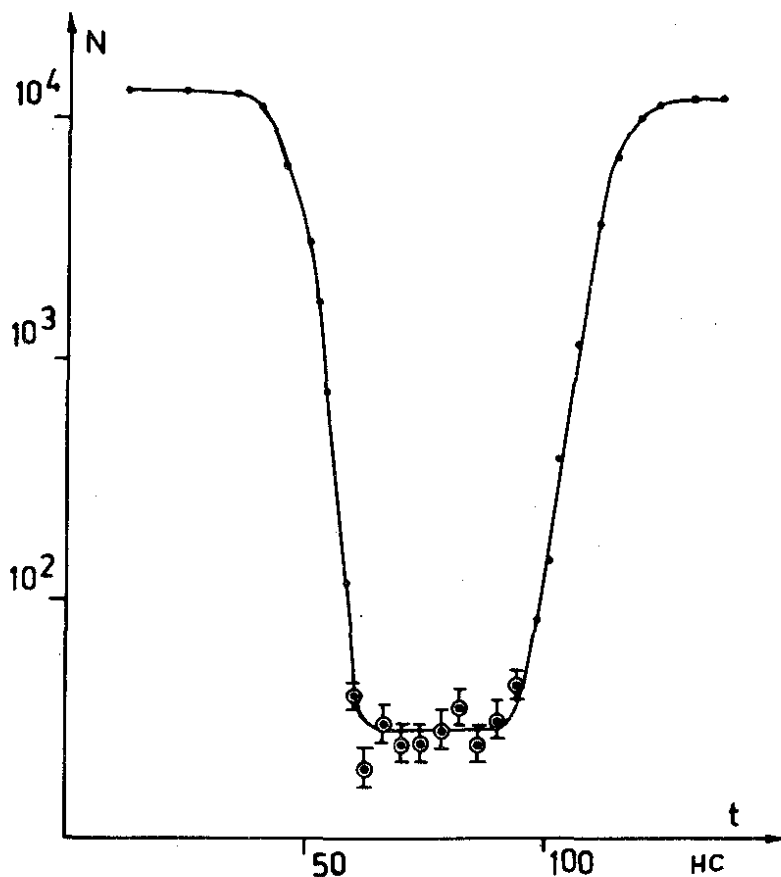


Рис. 2. Кривая задержанных анτισовпадений ПК 3-4.

### **ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ КАМЕРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИОНИЗАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ**

Для разделения заряженных частиц по массам мы использовали методiku одновременного измерения их ионизационных потерь  $\Delta E$  в тонком детекторе и полной энергии  $E$  в толстом.

В настоящее время тонкие полупроводниковые кремниевые детекторы для измерения  $\Delta E$  сильно потеснили



тонкие сцинтилляционные и газовые счетчики. Наиболее полно возможности кремниевых детекторов продемонстрированы в работах Авдейчикова и др. <sup>/2/</sup>. Однако при необходимости измерения относительно больших ионизационных потерь <sup>/3/</sup>, когда требуются детекторы толщиной в несколько  $\text{мг}/\text{см}^2$  или при необходимости иметь детекторы площадью в десятки  $\text{см}^2$ , преимущество остается за газовыми ионизационными камерами.

Нам нужно было идентифицировать протоны, дейтоны и тритоны в интервале от 3 до 70  $\text{МэВ}$  и отделить их от пролетных мюонов и электронов распада. Размеры детекторов задаются размерами исходного пучка мюонов, который имел эффективный диаметр 9 см.

На рис. 3 показано сечение одной из трех идентичных

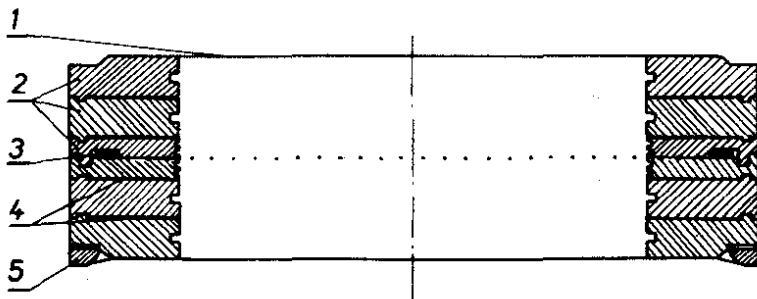


Рис. 3. Сечение ПК 5. 1 - катодный электрод, алюминиевая фольга; 2 - фторопластовые изоляторы; 3 - кольцо из нержавеющей стали для крепления анодных проволок; 4 - корректирующие электроды; 5 - кольца для натяжения катодной фольги.

ПК для измерения  $\Delta E$ . Геометрические размеры: межэлектродные зазоры  $L = 24 \text{ мм}$ ; анодные проволоки из золоченого молибдена диаметром  $d = 30 \text{ мкм}$ , намотаны с шагом  $s = 5 \text{ мм}$  на кольцо из нержавеющей стали с внутренним диаметром 140 мм; катодные электроды из алюминиевой фольги толщиной 10 мкм, общие для смежных ПК; рабочая область диаметром 110 мм ограничена фторопластовыми изоляторами, края рабочего объема

корректируются промежуточными электродами в виде тонких /0,1 мм/ медных колец.

Особое внимание при изготовлении обращалось на точность геометрических размеров, для чего была разработана специальная технология. Разброс расстояний между электродами меньше, чем 0,1 мм; точность шага намотки анодных проволок - в пределах нескольких мкм.

Из общих соотношений для распределения потенциала в симметричной ПК<sup>/4/</sup> следует, что напряженность поля  $\mathcal{E}$  на расстояниях  $y \geq s$  от плоскости анодных проволок практически постоянна и равна

$$\mathcal{E}(y \geq s) = \frac{V_0}{L(1 + \frac{s}{\pi L} \ln \frac{s}{\pi d})} \quad /1/$$

где  $V_0$  - напряжение, приложенное к проволокам/, а вблизи проволок ( $r \ll s$ ) эквипотенциали строго концентричны и напряженность поля изменяется пропорционально  $1/r$ , как в цилиндрическом счетчике:

$$\mathcal{E}(r) = \frac{V_0 \frac{s}{\pi L}}{r(1 + \frac{s}{\pi L} \ln \frac{s}{\pi d})} \quad /2/$$

На основании формулы /1/ определены потенциалы, подаваемые на корректирующие электроды

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta y \mathcal{E}(y \geq s)}{V_0} = \frac{\Delta y}{L(1 + \frac{s}{\pi L} \ln \frac{s}{\pi d})} = \frac{\Delta R}{R_0} \quad /3/$$

где  $\Delta V$  - разность потенциалов между соседними электродами;  $\Delta y$  - расстояние между ними;  $\Delta R$  - сопротивление резистора между теми же электродами;  $R_0$  - полное сопротивление высокоомного делителя.

Наполнение ПК производилось чистым метаном, который выбран из соображений быстрого действия ПК, так как скорость дрейфа электронов в нем при насыщении больше, чем во всех приемлемых газах и их смесях.

Кроме того, среди всех предельных углеводородов метан наиболее инертен и радиационно стоек. Для нас также важен минимальный атомный номер рабочего газа ПК для уменьшения числа фоновых событий. При давлении в 1 атм и напряжении  $V_0 = 5,4$  кВ газовое усиление равно  $10^2$ , пороговое напряжение  $U_{II} = 3,2$  кВ.

Дополнительная очистка метана производилась путем многократной фракционной перегонки. Окончательная очистка от электроотрицательных примесей осуществлялась медным геттером, помещенным в общий с рабочим объемом всех ПК газовый объем. Геттер предварительно очищается от газа и восстанавливается прогреванием в атмосфере водорода в том же объеме. Эффект очистки усиливается, если к геттеру приложить положительный потенциал.

В течение двух лет эксплуатации нами не замечено влияния электроотрицательных примесей на характеристики ПК. Сохраняется и стабильность в течение многодневной непрерывной работы ПК.

Проверка и калибровка ПК осуществляются по реакции захвата ядрами  $^3\text{He}$  нейтронов, фон от которых в измерительном зале создается при работе ускорителя. Для этого в рабочий газовый объем ПК добавляется  $^3\text{He}$  /0,1% по объему/. Для выделяющейся в реакции энергии 764 кэВ от захвата тепловых нейтронов получено разрешение 5%. Спектр, снятый при  $V_0 = 5,1$  кэВ, приведен на *рис. 4а*, где постоянный уровень в сторону меньших от пика энергий определяется краевыми эффектами от неполных пробегов /около 1 см для протона/ в рабочем объеме ПК. В разрешение линии 764 кэВ входит и неоднородность газового усиления по всему объему ПК. Из обработки спектра коллимированных  $\alpha$ -частиц с энергией, затраченной на ионизацию в ПК, 5 МэВ /*рис. 4б*/, когда их ионизационный пробег захватывает около 12 одних и тех же рабочих проволок и неоднородность газового усиления на разрешении не сказывается, следует, что она составляет 3%. Такая хорошая, на наш взгляд, однородность достигнута благодаря большой точности изготовления ПК и высокой чистоте рабочего газа.

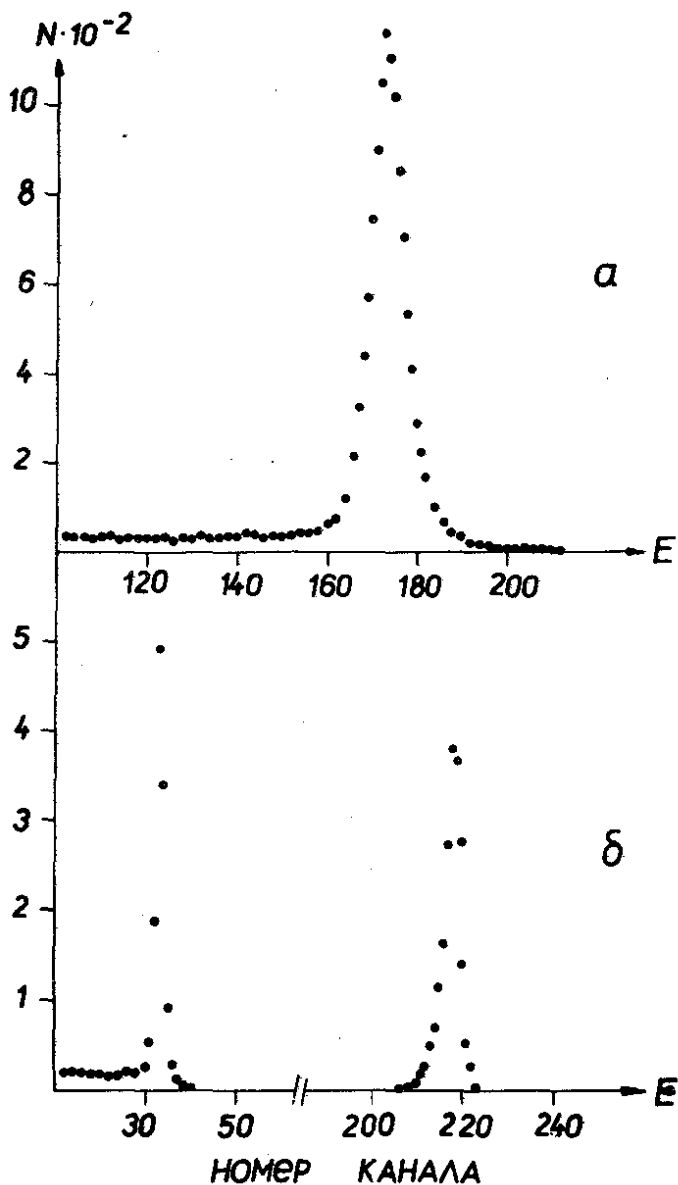


Рис. 4. а/ энергетический спектр от реакции  ${}^3\text{He}(n,p)\text{T}$  в рабочем объеме ПК 5. Пик - 764 кэВ; б/ тот же спектр /слева/, снятый одновременно со спектром  $\alpha$ -частиц с остаточной энергией 5 МэВ основной линии  ${}^{241}\text{Am}$ .

На *рис. 46* слева показан спектр от захвата нейтронов ядрами  ${}^3\text{He}$ , снятый одновременно со спектром  $\alpha$ -частиц, что является некоторой демонстрацией линейности как газового усиления, так и усилительного тракта.

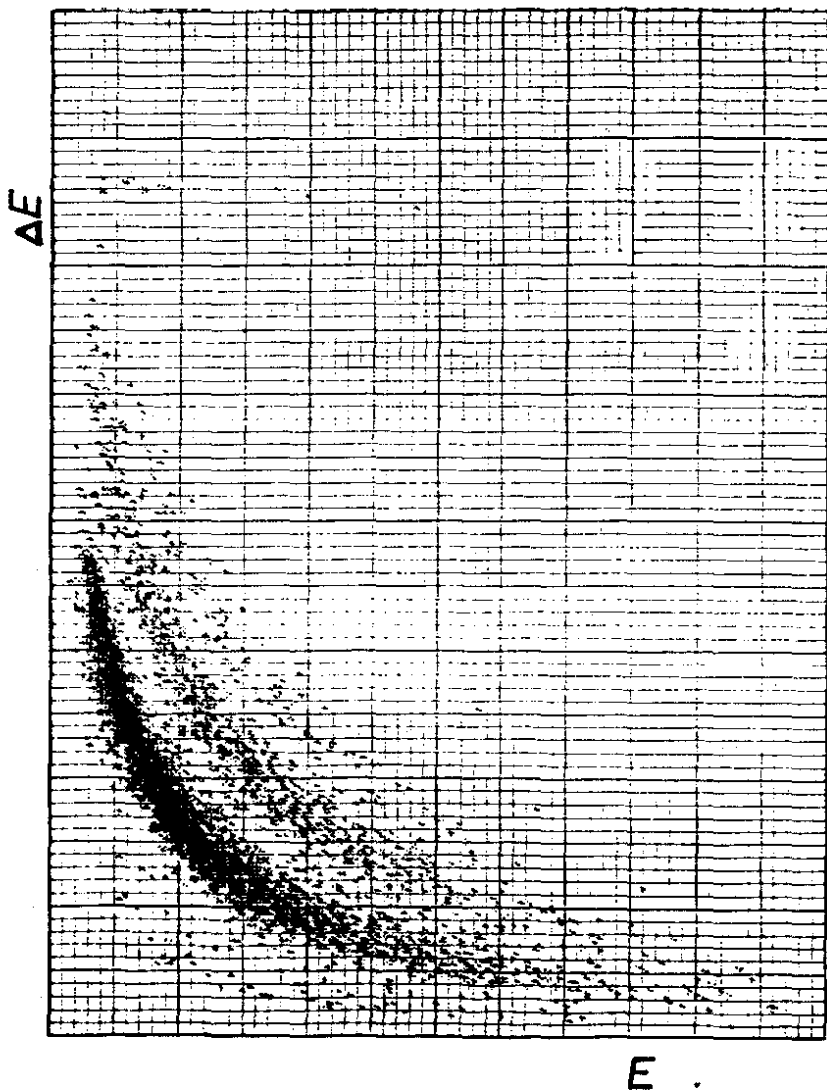
В предварительных измерениях по захвату отрицательных мюонов ядрами серы получено полное разделение протонов, дейтонов и электронов. На *рис. 5* приведено распределение  $\Delta E$ ,  $E$ , построенное по минимальной/из трех/величине  $\Delta E$ . Запись и обработка событий производятся при помощи ЭВМ на линии.

## ЭЛЕКТРОНИКА

Упрощенная схема электроники представлена на *рис. 6*. Основой ее является единая система быстрых блоков наносекундного диапазона. Блоки выполнены на интегральных схемах и имеют расширенные функциональные возможности.

Электронная схема включает следующие основные узлы. Блок выделения остановок мюонов в мишени /"остановки"/. Рабочей остановкой считалось такое событие, когда мюон остановился в мишени /совпадение 1234/, а в течение заданного промежутка времени /3 мкс/ до этого не влетал другой мюон /нет совпадений 12 до остановки/. Преобразователь время - код /Т-К/ - на 256 каналов <sup>/5/</sup>. Цена канала 20 нс задается кварцевым генератором <sup>/6/</sup>. С помощью преобразователя измеряется время вылета как заряженных частиц от захвата мюонов ядрами мишени, так и электронов от распада мюонов. Преобразователь же вырабатывает импульс ворот длительностью 5 мкс, в течение которых ведется регистрация полезных событий. Устройство многомерного анализа /многомерный анализатор/ позволяло нам измерять для каждого события 5-6 параметров <sup>/7/</sup>. Окончательная фиксация всех измеренных случаев проводилась на ЭВМ типа HP 2116 C. С ее же помощью велась обработка набранной информации.

Блок кратных событий /КС/ <sup>/8/</sup> предотвращал их запись в промежуточную память многомерного анализатора



*Рис. 5. Распределение событий по  $\Delta E$  и  $E$ , полученное от захвата отрицательных мюонов ядрами серы. Густая полоса - протоны.*

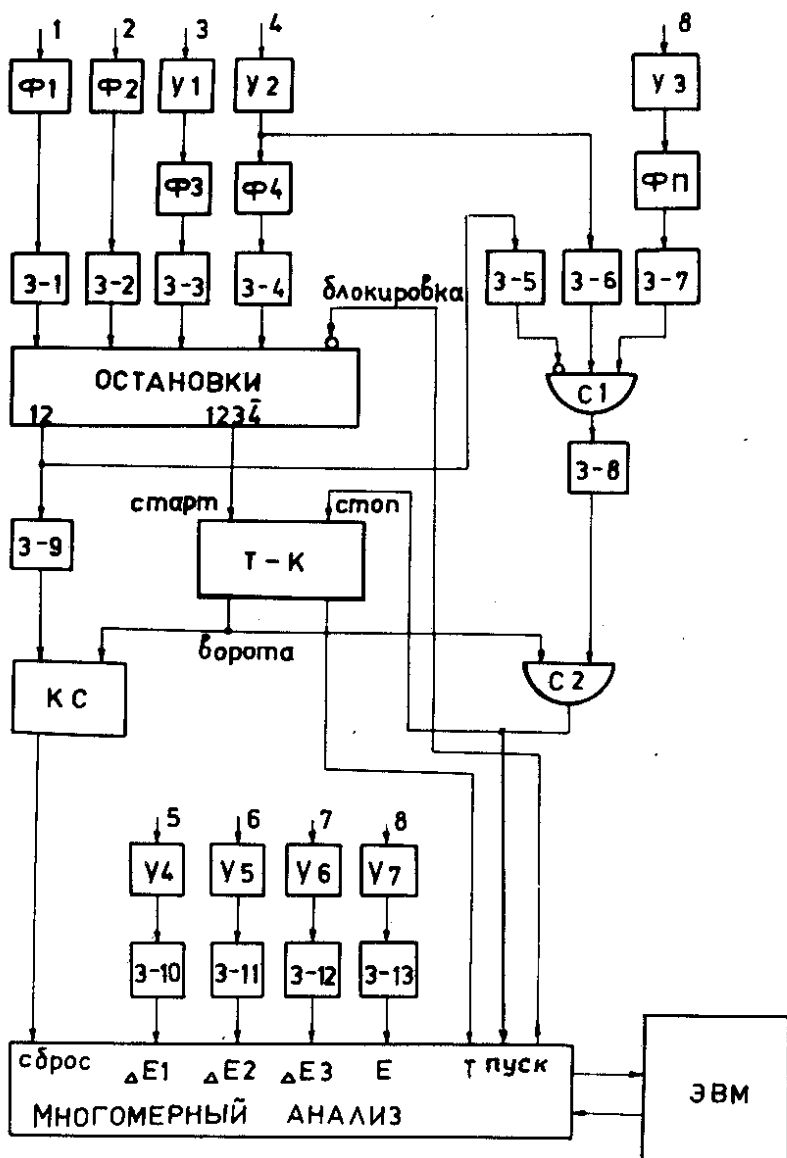


Рис. 6. Блок-схема электроники.

в тех случаях, когда в течение полной длительности импульса ворот появлялся второй мюон.

Быстрый усилитель /УЗ/<sup>/9/</sup> в сочетании с формирователем с привязкой /ФП/<sup>/9/</sup> обеспечивал удовлетворительное временное разрешение спектрометра  $CsJ$  в широком диапазоне измеряемых амплитуд.

Чувствительные формирователи Ф1-Ф4 с порогом срабатывания 20 мВ/<sup>10/</sup> и совпадения С1, С2/<sup>11/</sup> помогали организации быстрого логического отбора полезных событий.

Запуск многомерного анализатора осуществлялся совпадениями счетчиков 4 и 8 в воротах после остановки мюона в мишени /схемы С1 и С2/. Кабельные линии задержки логических сигналов - 3-8, 3-9/<sup>12/</sup> обеспечивали сдвиг положения физического нуля временной шкалы преобразователя Т-К на 1 мкс. На такое же время сдвигались сигналы в каналах амплитудного анализа ионизационных потерь частиц 3-10, 3-11, 3-12 и энергии 3-13. Ложный запуск системы анализа от сквозного пролета мюона через установку исключался антисовпадениями I2 в блоке С1.

Данные с многомерного анализатора передавались в ЭВМ в автоматическом режиме после набора группы из 1024 событий.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Возможности созданной установки, по нашему мнению, хорошо иллюстрируются всего одним примером: в течение 40 ч. работы ускорителя при  $10^3$  остановок мюонов в с. на мишени из углерода зарегистрировано 600 случаев вылета заряженных частиц при фоне не более 20.

Авторы благодарны В.Г.Сазонову за содействие при решении проблем изготовления ответственных узлов установки, М.М.Петровскому и Ю.Н.Ефимову - за помощь в работе.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Будяшов Ю.Г. и др. ЖЭТФ, 1971, 60, с.19.
2. Avdeichikov V. V. e.a. Nucl.Instr. and Meth., 1975, 118, p.247; Nucl.Instr. and Meth., 1975, 131, p.61.
3. Sachs M. W. e.a. Nucl.Instr. and Meth., 1966, 41, p.213.
4. Морс П., Фешбах Г. Методы теоретической физики, ИЛ, М., 1958, т.2, с.231.
5. Гребенюк В.М. и др. ПТЭ, 1976, 2, с.57.
6. Винклер Е. и др. ОИЯИ, Р13-9871, Дубна, 1976.
7. Синаев А.Н. и др. ОИЯИ, 13-7656, Дубна, 1974.
9. Akimov Yu.K. e.a. IEEE Trans. Nucl.Sci., NS-19, 1972, No. 3, p.404.
10. Борейко В.Ф. и др. ПТЭ, 1976, 1, с.97.
11. Борейко В.Ф. и др. ПТЭ, 1976, 1, с.84.
12. Валуев Ю.М. и др. ПТЭ, 1976, 1, с.94.

Рукопись поступила в издательский отдел  
21 июля 1977 года.