

58

И Н С Т И Т У Т
ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СОАН СССР

ПРЕПРИНТ И ЯФ 77-78

Ю.Н.Пестов, Г.В.Федотович

ПИКОСЕКУНДНЫЙ ВРЕМЯПРОЛЕТ -
НЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ВЭПП-2М
НА ОСНОВЕ ИСКРОВЫХ СЧЕТЧИКОВ
С ЛОКАЛИЗОВАННЫМ РАЗРЯДОМ

Новосибирск

1977

ПИКОСЕКУНДНЫЙ ВРЕМЯПРОЛЕТНЫЙ СПЕКТРОМЕТР ДЛЯ ВЭП-2М НА ОСНОВЕ
ИСКРОВЫХ СЧЕТЧИКОВ С ЛОКАЛИЗОВАННЫМ РАЗРЯДОМ

Ю.Н.Пестов, Г.В.Федотович

А Н Н О Т А Ц И Я

В работе описан времяпролетный спектрометр на основе двух искровых счетчиков с локализованным разрядом, работающий в линию с ЭВМ. Собственное временное разрешение искрового счетчика $\sigma = 30$ псек. В спектрометре использованы также 6 сцинтилляционных счетчиков для отбраковки фона и дополнительного определения вида частиц. Спектрометр предназначен для измерения фактора Π -мезона в области энергии от 360 МэВ до 800 МэВ на ВЭП-2М с выделением e, μ, π событий по времени пролета.

PICOSECOND TIMEFLIGHT SPECTROMETER FOR VEPP-2M
ON THE BASIS OF SPARK COUNTERS WITH A LOCALIZED DISCHARGE

Yu.N.Pestov, G.V.Fedotovich

Institute of Nuclear Physics
Siberian Division of the USSR Academy of Sciences

A b s t r a c t

Timeflight spectrometer is described which consists of two spark counters with the localized discharge and operates on-line. Own time resolution of the spark counter is $\sigma = 30$ psec. The spectrometer has 6 scintillation counters to separate background and also for an additional determination of a kind of particles. The spectrometer is designed for measuring the π -meson formfactor in energy region from 360 MeV to 800 MeV on VEPP-2M with distinguishing of e, μ, π events by time of flight.

Формфактор Π -мезона изучался на установках с встречными электрон-позитронными пучками в широком диапазоне энергий от 480 до 3000 МэВ /1/. Однако, область энергий ниже ρ -мезонного резонанса (760 МэВ) ещё бедна экспериментальными данными /2,3/. Постановка таких экспериментов на ВЭПП-2М, накопителе с встречными электрон-позитронными пучками Института ядерной физики СО АН СССР, обладающем в настоящее время наибольшей светимостью в области низких энергий /4/, может заполнить этот пробел. В данной работе описана аппаратура для эксперимента по измерению формфактора Π -мезона с помощью времяпролетной методики. В этом эксперименте впервые используется новый детектор заряженных частиц, разработанный в нашем Институте - искровой счётчик с локализованным разрядом /5-9/. Собственное временное разрешение такого счётчика $\tau = 30$ псек является рекордным среди существующих детекторов.

Основу времяпролетного спектрометра составляют два искровых счётчика с локализованным разрядом, расположенные в вертикальной плоскости по обе стороны от места встречи пучков (рис. I). Искровой зазор нижнего счётчика площадью 11×11 см² находится на расстоянии 12 см от места встречи. Расстояние L

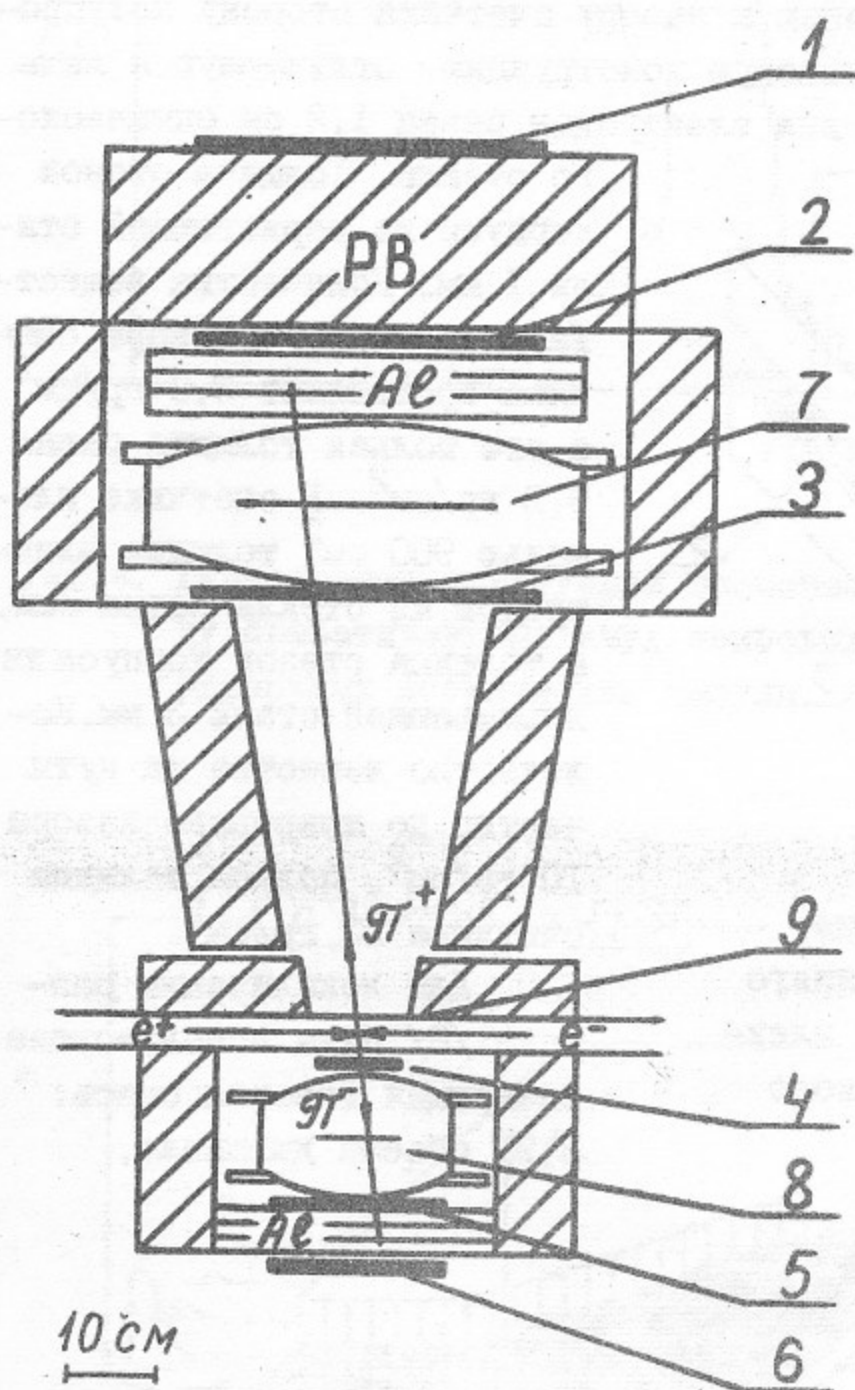


Рис. I. Общий вид времяпролетного спектрометра. 1-2-3-4-5-6 - сцинтилляционные счётчики С1-С2-С3-С4-С5-С6. 7,8 - соответственно, верхний и нижний искровые счётчики, 9 - стенка вакуумной камеры накопителя ВЭПП-2М.

Однако уникальные временные характеристики были при этом потеряны /11/.

Искровой счётчик с локализованным разрядом отличается от обычного тем, что в момент пробоя постоянное напряжение, приложенное к пластинам счётчика, снимается с ограничен-

нии 12 см от места встречи. Расстояние L до места встречи верхнего счётчика размером 30×30 см² может меняться в зависимости от энергии, на которой ведётся эксперимент, от 35 см (2×180 МэВ) до 260 см (2×400 МэВ). Пары одинаковых частиц, одновременно вылетевшие из места встречи пучков, регистрируются счётчиками в разные моменты времени с задержкой, равной времени пролета базы спектрометра ($L - 12$) см. Пары частиц с другой массой, но той же полной энергией, будут иметь отличающуюся задержку, что позволяет разделить их по виду. В спектрометре используются также 6 сцинтилляционных счётчиков для отбраковки фона и дополнительного определения вида частиц. Спектрометр работает в линию с ЭВМ типа "Одра-1325". Далее мы более подробно остановимся на отдельных элементах спектрометра и обсудим его характеристики.

I. Искровые счётчики с локализованным разрядом

Начало развития искровой методики отсчитывается с момента появления плоскопараллельных искровых счётчиков с постоянным питанием /10/. Обладая высоким временным и координатным разрешением они, однако, не обеспечивали высокой скорости счёта и больших площадей для регистрации частиц и поэтому не получили практического применения. Одно важное их свойство - точная локализация траектории - доведено до совершенства в управляемых детекторах - искровых камерах.

ной области электродов вокруг разряда. При этом чувствительность к частицам на остальной площади сохраняется. Это достигается за счет применения материала с высоким удельным сопротивлением ($10^9 + 10^{10}$ Ом.см) в качестве одного из электродов счетчика и заполнения межэлектродного зазора газовой смесью, хорошо поглощающей фотоны от искры. Вследствие локализации разряда устраняется принципиальное ограничение на размеры искрового счетчика (у обычных счетчиков с ростом размеров растет энергия, выделяемая при пробое, что приводит к порче электродов). Существенно увеличивается и предельная скорость счета, поскольку искровой счетчик с локализованным разрядом эквивалентен большому числу независимых искровых счетчиков.

Искровые счетчики, используемые в спектрометре, имеют площадь 120 см^2 и 900 см^2 при зазоре между электродами $0,1 \text{ мм}$. Один из электродов выполнен из полированного стекла, на которое нанесен напылением в вакууме слой меди $\sim 1 \text{ мкм}$ на подложке из хрома. Второй полупроводящий электрод толщиной 5 мм наклеен на оптическое стекло для обеспечения его жесткости против давления электростатических сил. Съем электрических сигналов осуществляется по медным полоскам, нанесенным на внешнюю по отношению к зазору счетчика сторону полупроводящего электрода (рис.2). Оба счетчика имеют одинаковую конструкцию, отличающуюся лишь размерами деталей. В счетчике площадью 120 см^2 толщина электродов равна $1,2 \text{ см}$ оптического стекла. Толщина стенок корпуса из нержавеющей стали 1 мм . Количество вещества до искрового зазора счетчика составляет $3,8 \text{ гр/см}^2$, а его полная толщина равна $9,2 \text{ гр/см}^2$. В счетчике площадью 900 см^2 толщина электродов из стекла равна 3 см , а толщина стенок корпуса из нержавеющей стали 3 мм . Количество вещества на пути частиц до искрового зазора 10 гр/см^2 , полная толщина счетчика 22 гр/см^2 .

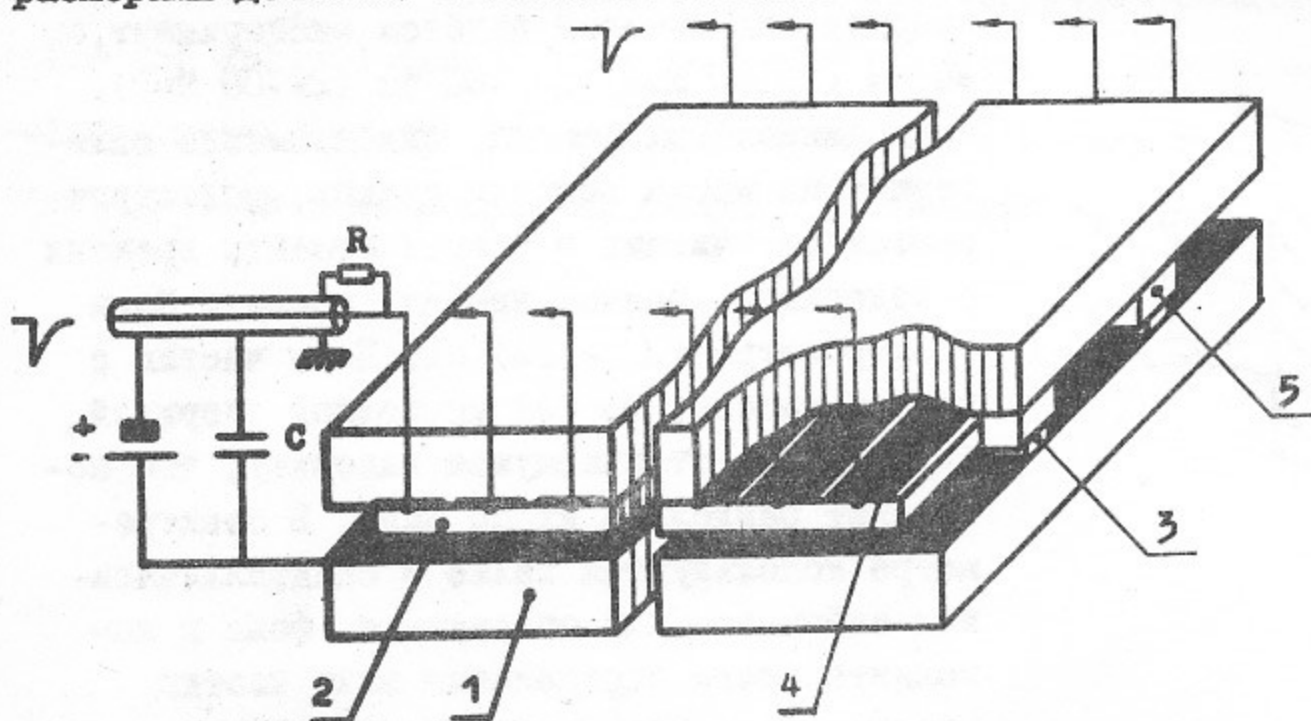


Рис.2. Принципиальная конструкция искрового счетчика. 1-отрицательный электрод; 2-электрод из полупроводящего стекла; 3-стальные прокладки, задающие зазор между электродами; 4-полоски из меди; 5-проставки из оптического стекла.

Для локализации разряда /8/ была использована следующая газовая смесь: 2,9% объема дивинила,

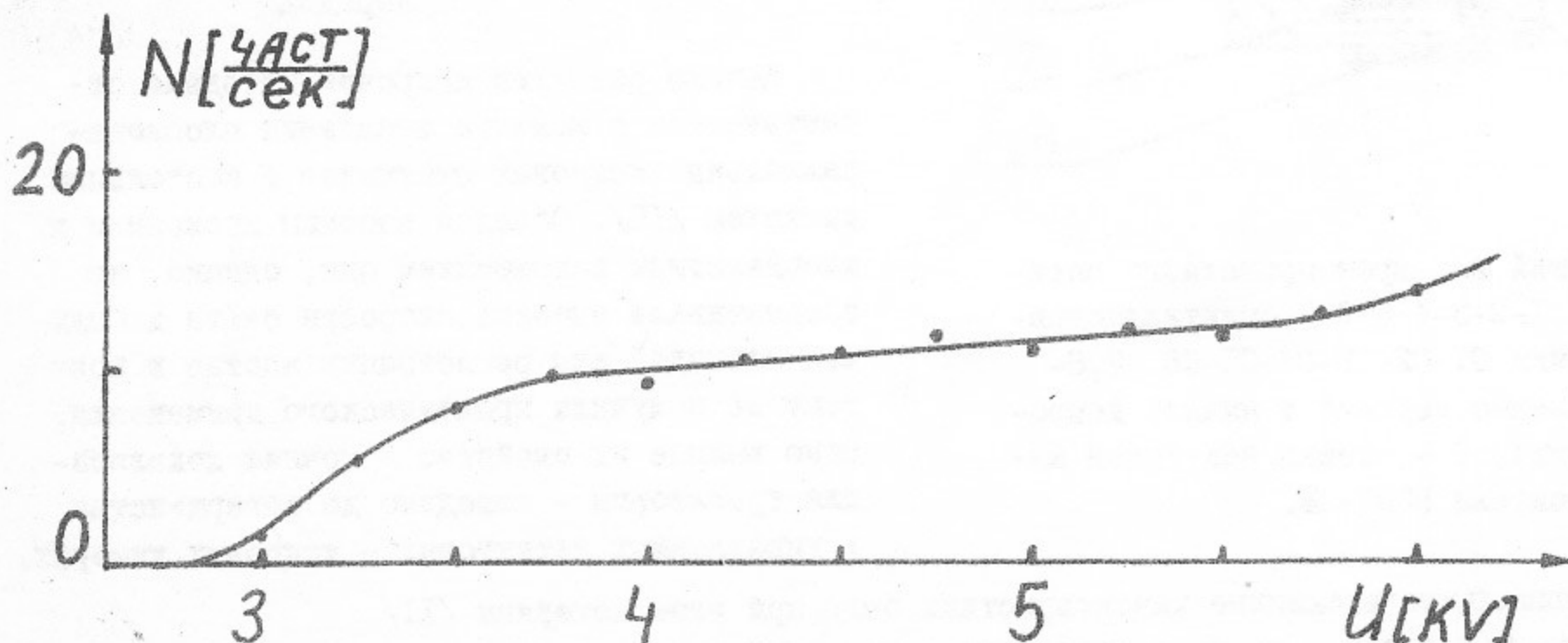


Рис.3. Счетная характеристика искрового счетчика с локализованным разрядом.

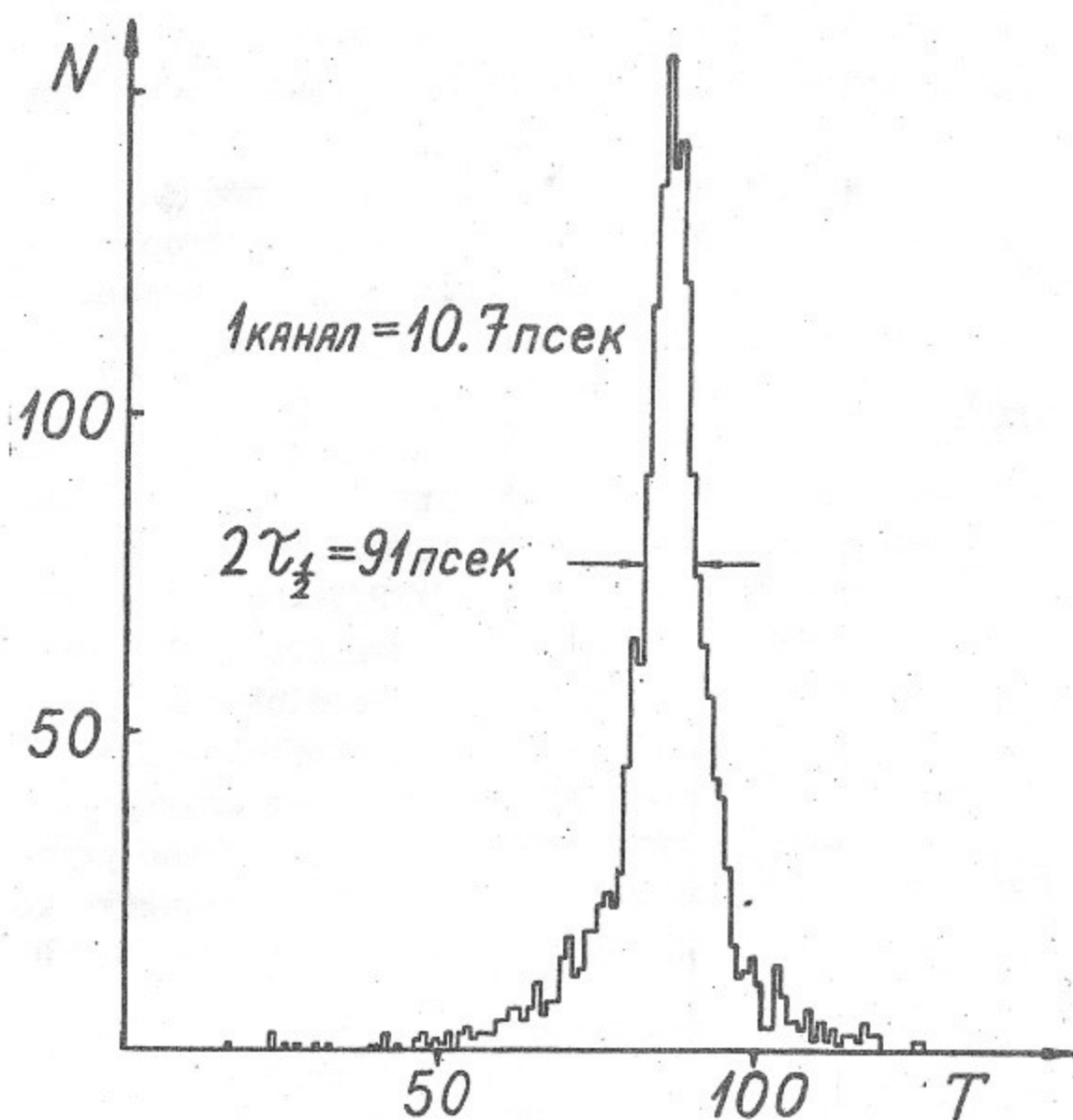


Рис. 4. Гистограмма флуктуаций временной задержки между срабатываниями двух искровых счетчиков от одиночных космических частиц.

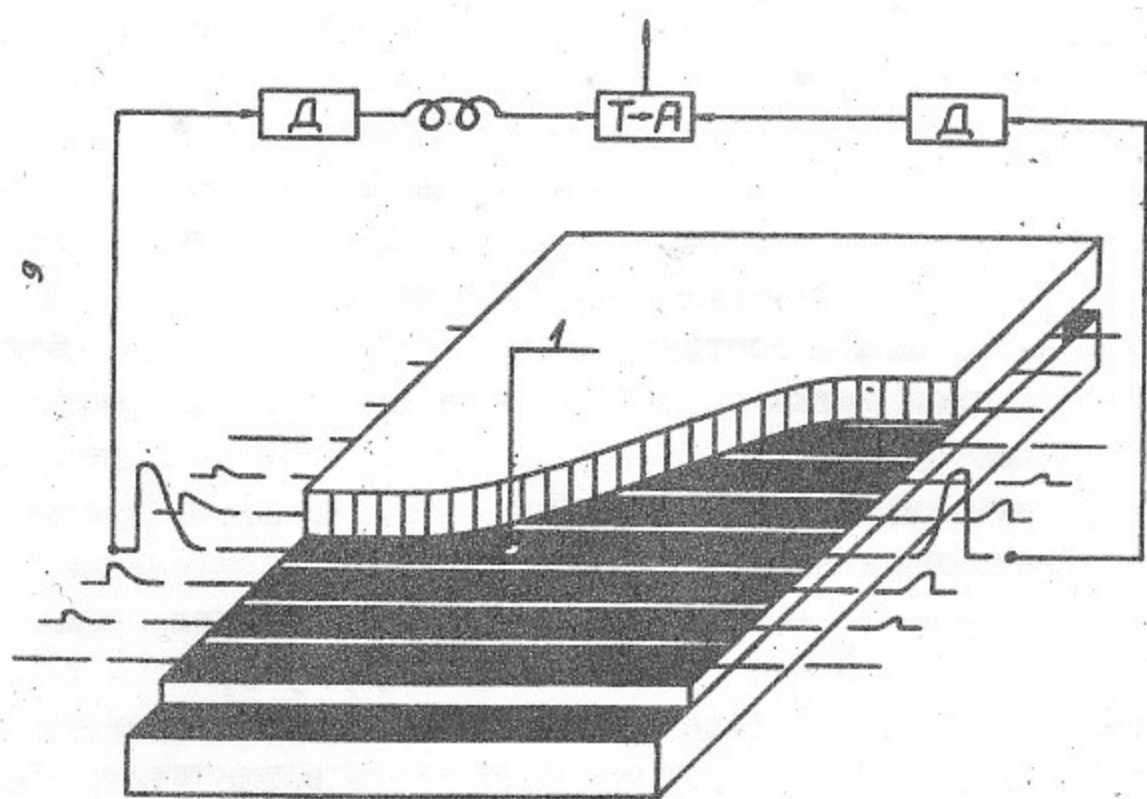


Рис. 5. Принципиальная схема съема информации о координатах места пробоя. 1 — область пробоя.

перпендикулярных направлениях (рис. 5): 1) по центру тяжести амплитудного распределения сигналов с медных полосок, на которых был наведен заряд при срабатывании счетчика; 2) по разности времени распространения сигналов вдоль полосок в обе стороны от места пробоя. В на-

2,5% этилена, 16,7% изобутана, 8,3% водорода и 69,9% аргона при полном давлении 11 атм. Такое давление газа необходимо для получения эффективности счетчика к заряженным частицам 96%. Пороговое напряжение (начало регистрации частиц) составило 2,8 кВ при ширине плато счетной характеристики около 2,5 кВ (рис. 3). Амплитуда импульса с каждой полоски, под которой происходила пробой, составила 1,5 В на нагрузке 50 Ом при напряжении на электродах счетчика 5,8 кВ, т.е. в 2,1 раза превосходящем пороговое значение.

Временное разрешение измерялось при регистрации одиночных космических частиц. Счетчики располагались один над другим на достаточно большом расстоянии, чтобы можно было пренебречь умирением временного спектра из-за разницы во времени пролета между счетчиками для вертикальных и наклонных частиц. Для устранения медленных космических частиц на совпадении с искровыми счетчиками включался сцинтилляционный счетчик, расположенный под искровыми и покрытый слоем свинца толщиной 30 см. Специальная электроника компенсировала зависимость момента прихода сигнала от места пересечения частицей счетчиков. На рис. 4 представлена гистограмма временного распределения событий при напряжении 5,75 кВ на электродах. Полная ширина на полувысоте этого распределения равна 91 псек. Отсюда временное разрешение одного счетчика оказалось равным $\sigma = 28$ псек, если считать, что приведенное распределение имеет форму кривой Гаусса.

Координаты частиц в искровом счетчике с локализованным разрядом могут определяться в плоскости электродов в двух взаимнопер-

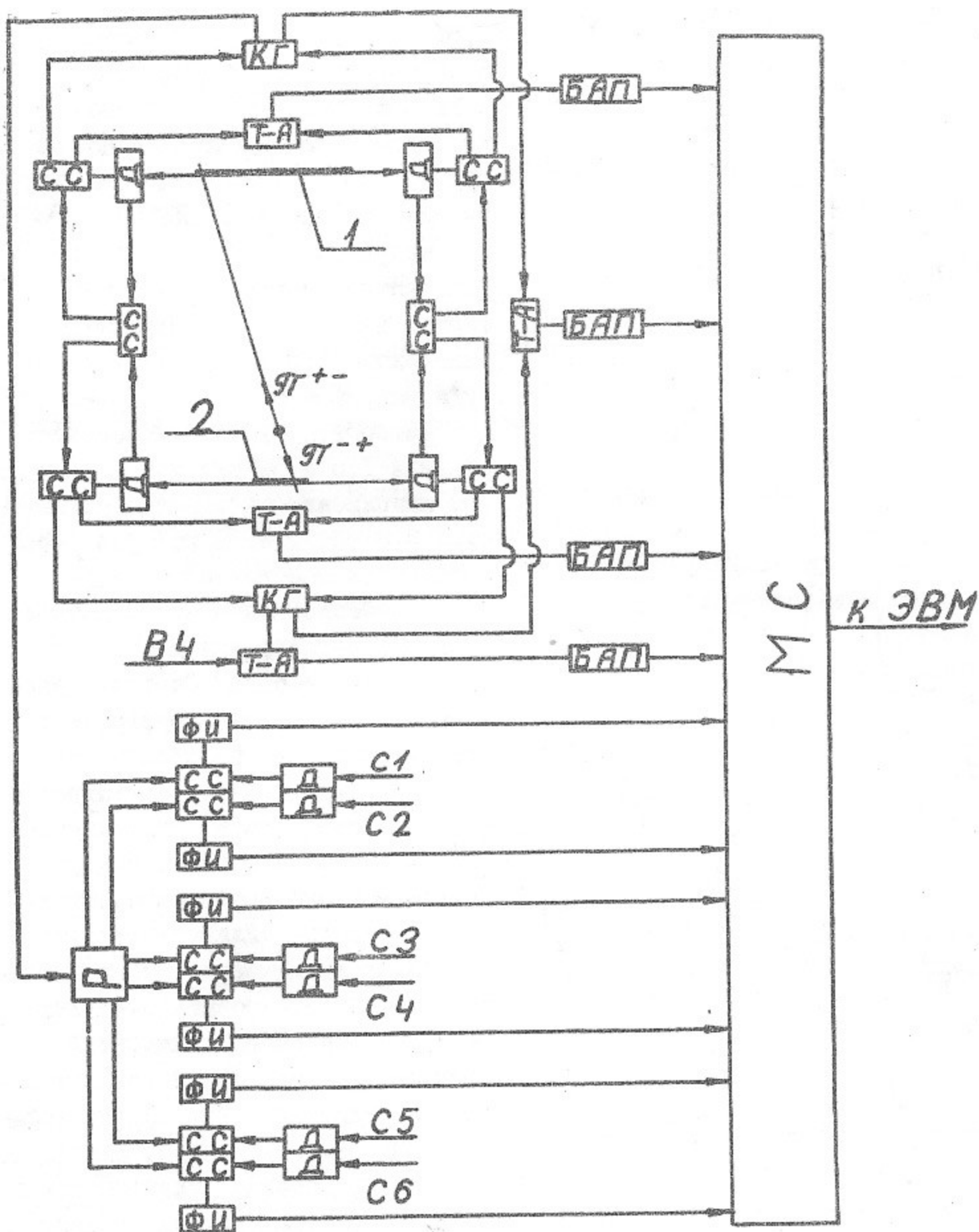


Рис.6. Принципиальная блок-схема электроники. 1,2 - соответственно, верхний и нижний искровые счетчики, Д - дискриминатор, СС - схема совпадения, Т-А - время-амплитудный преобразователь, КГ - схема компенсации геометрии, ФИ - формирователь импульсов, БАП - блок амплитудного преобразователя, Р - разветвитель сигнала, МС - магистральная станция связи с ЭВМ.

бытий в нижнем плече спектрометра с целью подавления фона от пучков накопителя. Сцинтилляционные счетчики С2 ($40 \times 40 \times 1 \text{ см}^3$) и С6 ($20 \times 20 \times 1 \text{ см}^3$) расположены после поглотителя Π -мезонов и регистрируют e^+e^- и $\mu^+\mu^-$ пары. Сцинтилляционный счетчик С1 ($40 \times 40 \times 1 \text{ см}^3$), расположенный над свинцовой защитой (20 см), позволяет уменьшить фон от одиночных космических частиц и снизить число срабатываний спектрометра от мягкой компоненты ШАЛ, временной фронт которой имеет дисперсию $\sigma = 2 \text{ нсек}$.

3. Электроника времяпролетного спектрометра

Быстрая и медленная электроника отбирает полезные события, информация о которых передается на ЭВМ "Одра-1325" при помощи специальной системы связи /13/. Здесь данные о со-

шем эксперименте используется только второй способ съема координат. Для этого с помощью времяамплитудного преобразователя измеряется задержка прихода сигналов вдоль полосок на два противоположных конца счетчика. Как показали измерения /12/, координатная точность самого искрового счетчика составляет $\sigma \sim 0,1 \text{ мм}$, но вклад электроники в нашем случае ухудшил эту величину до $\sigma \sim 0,3 \text{ мм}$.

2. Сцинтилляционные счетчики.

В спектрометре используется 6 сцинтилляционных счетчиков. Все счетчики сделаны из пластмассы NE-102 и просматриваются фотоумножителями типа ФЭУ-30. Первыми к месту встречи (рис.1) расположены сцинтилляционные счетчики С3 ($40 \times 40 \times 1 \text{ см}^3$) и С4 ($10 \times 10 \times 0,5 \text{ см}^3$) для уменьшения фона от пучков накопителя. С5 ($20 \times 20 \times 1 \text{ см}^3$) служит дополнительным фактом регистрации

e, μ, π - со-

бытиях накапливаются на магнитной ленте для дальнейшей обработки. Быстрая электроника представляет собой два канала: время-координатный, связанный с искровыми счетчиками и расположенный в зале ВЭШ-2М и канал сцинтилляционных счетчиков, находящийся в пультовой регистрации (рис.6).

Для определения координат частицы сигналы с двух противоположных концов каждого искрового счетчика через быстрые дискриминаторы и схемы пропускания поступают на схемы время-амплитудного преобразователя Т-А. Импульсы с Т-А поступают в пультовую регистрацию для амплитудного преобразования и далее по кабельной трассе (~ 600 м) передаются на ЭВМ. Аналогично устроен и съём информации о времени задержки срабатывания между двумя искровыми счетчиками. Для исключения влияния на измеряемую задержку места пересечения счетчика частицей между дискриминаторами и Т-А используются схемы компенсации геометрии (КГ). Эти схемы определяют средний момент прихода сигналов с противоположных концов каждого счетчика с точностью ~ 10 псек. Кроме того, предполагается с помощью Т-А измерять время задержки срабатывания нижнего искрового счетчика относительно фазы высокочастотного сигнала с резонатора накопителя.

Все схемы время-координатного канала обеспечивают температурную стабильность лучше 1 псек/ $^{\circ}$ С. Собственное разрешение схем Т-А составляет $\sigma \sim 2$ псек.

Электроника сцинтилляционного канала состоит из схем совпадений и формирователей импульсов для занесения специальных "меток" о срабатывании любого из 6-ти счетчиков в ЭВМ при регистрации события искровыми счетчиками.

4. Характеристики спектрометра

Первые измерения предполагается начать на энергии накопителя 2×200 МэВ при базе спектрометра равной 50 см. Такая база обеспечивает задержку между электронными и мюонными событиями $\tau_{em} = 289$ псек, а между мюонами и пионами $\tau_{\mu\pi} = 372$ псек. Эти значения задержек примерно в 8 раз больше собственного разрешения спектрометра $\sigma = 40$ псек. Выбор такой базы с одной стороны даст достоверное разделение частиц по времени пролета, с другой, позволит варьировать параметры эксперимента, сообразуясь с результатами первого опыта (делать измерения на большей энергии не меняя базу спектрометра, работать не на предельном разрешении и т.д.).

В таблице I приведены расчетные параметры эксперимента для разных энергий накопителя: скорость β для Π -мезонов; l - база спектрометра, необходимая для получения $\tau_{em} \sim \tau_{\mu\pi} \sim 300$ псек; телесный угол спектрометра $\Delta\Omega$; n - время набора 100 Π -мезонных событий при светимости ВЭШ-2М, вычисленной по формуле $L = 5 \cdot 10^{29} (E/500)^3$ 1/сек.см² /4/. Из таблицы видно, что несмотря на уменьшение телесного угла спектрометра при переходе к большим энергиям, время набора 100 пионных событий резко уменьшается как за счет увеличения светимости ВЭШ-2М, так и вследствие роста сечения рождения Π -мезонов в районе ρ -резонанса.

На рис.7 приведены ожидаемые распределения интересующих нас событий на временной шкале при энергии пучков в накопителе 2×200 МэВ. В расчетах все вещество на пути частиц за-

Таблица I

E (МэВ)	β	l (см)	$\Delta\Omega$ (стер.)	$L/10^{28}$ (1/сек.см ²)	n суток
180	0.628	35	0.900	2.30	8.0
200	0.715	50	0.500	3.20	5.8
250	0.830	80	0.220	6.25	2.81
300	0.885	130	0.092	10.8	1.83
350	0.915	190	0.045	17.2	0.56
380	0.930	230	0.031	22.1	0.33
400	0.938	260	0.025	25.6	0.63

менялось на эквивалентное в гр/см² количество алюминия. При этом предполагалось полное отсутствие фона, 100% эффективность всех счетчиков и нормальное распределение событий с $\sigma = 40$ псек. Заметим, что события от одиночных космических частиц находятся на временной шкале примерно на 4 нсек левее электрон-позитронных событий. На рис.7а показано распределение событий, которые зарегистрируют искровые счетчики независимо от срабатываний сцинтил-

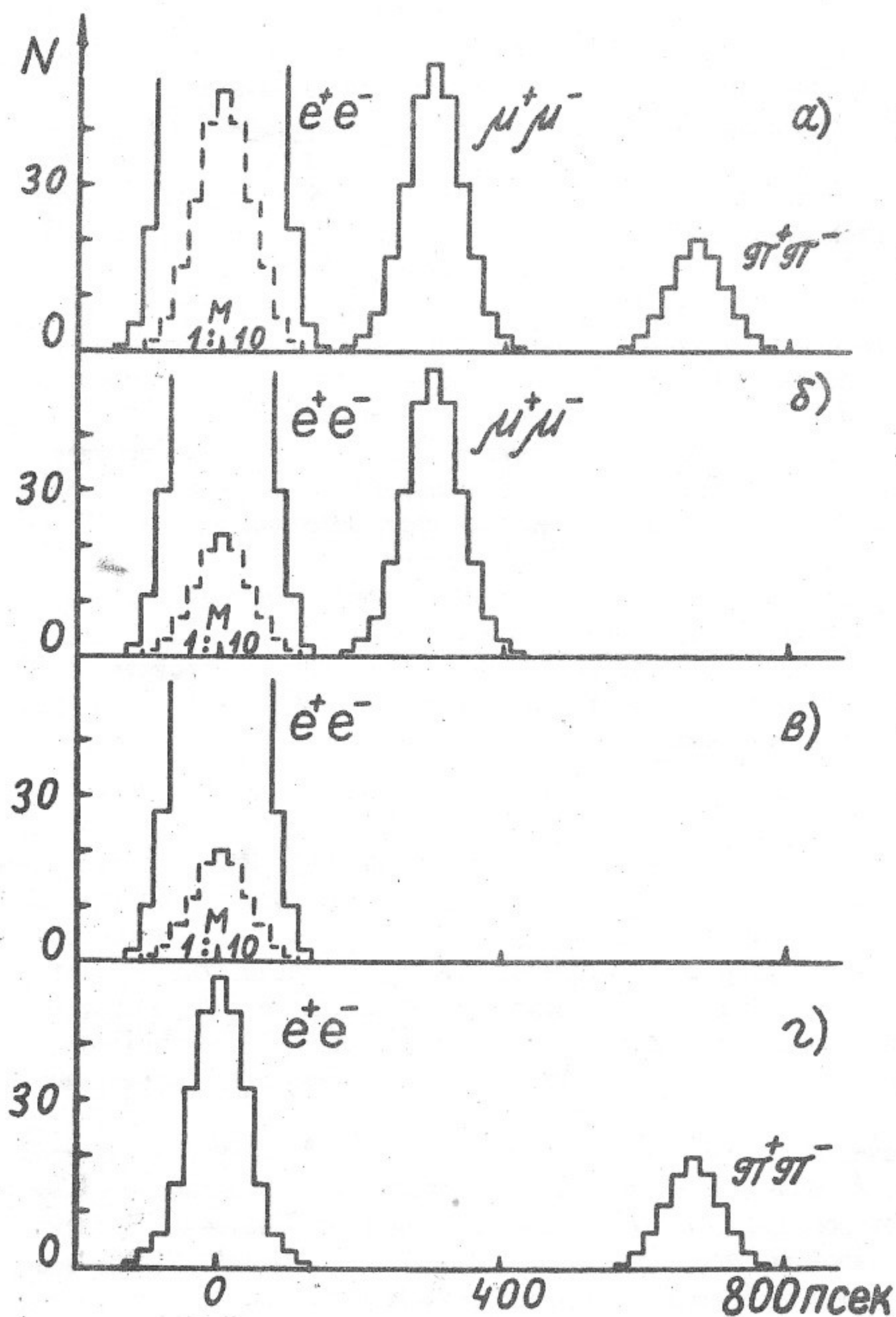


Рис.7. Распределение e^+e^- , $\mu^+\mu^-$, $\pi^+\pi^-$ - событий на временной шкале при энергии пучков в накопителе 2×200 МэВ: а) при срабатывании двух искровых счетчиков; б) тоже, что и а) при наличии сигналов с счетчиков С2 и С6, в) то же, что и а) при наличии сигнала в одном из счетчиков С2 или С6; г) то же, что и а) при отсутствии сигналов с обоих счетчиков С2 и С6.

кратное рассеяние в стенках вакуумной камеры и в веществе счетчиков; 2) радиационные поправки; 3) разница во времени пролета наклонных и вертикальных частиц к плоскости электродов искровых счетчиков; 4) распад пионов на лету и др. Вычисления показали, что для выбранной геометрии эксперимента величины этих поправок не превышают 20%. Другая часть поправок связана с разным характером взаимодействия частиц с веществом установки, что меняет соотношение между количеством зарегистрированных e^+e^- , $\pi^+\pi^-$, $\mu^+\mu^-$ событий на рис.7: 1) неупругое ядерное взаимодействие π -мезонов в веществе искровых счетчиков приводит к

ляционных счетчиков (форм-фактор π -мезона брался равным $F_{\pi} = 1,5$). Ниже (рис.7б) показаны события, дающие одновременно сигналы в искровых и во всех сцинтилляционных счетчиках (кроме С1).

Пионы выпадают из этого распределения, поскольку они останавливаются в веществе перед С2 и С6 (рис.1). Число электрон-позитронных пар должно уменьшаться на величину, поглощенную в том же веществе (около 44%), а количество мюонных событий останется без изменений. На рис.7в показан случай, когда только один из сцинтилляционных счетчиков С2 или С6 не дает сигнала о регистрации частицы. В этом распределении должны присутствовать только электронные события - в нашем случае $\sim 38\%$. На рис.7г приведены события, когда в обоих сцинтилляционных счетчиках С2 и С6 одновременно нет сигналов о регистрации частицы. К такому сорту событий относятся все пионы и часть электронных событий ($\sim 6\%$).

Реальная экспериментальная ситуация требует учета ряда эффектов, несколько меняющих распределение рис.7. Часть эффектов приводит к уширению и деформации временных спектров: 1) много-

потере 10% таких пар, 2) электромагнитное взаимодействие электрон-позитронных пар в этом же веществе оставляет не зарегистрированными $\sim 15\%$ событий. Все приведенные поправки легко учитываются при обработке экспериментальных результатов.

Фоновые условия на ВЭПП-2М изучались в предварительном заходе в декабре 1976 года. Он показал, что даже без счетчика С1 фон от одиночных космических частиц пренебрежимо мал. Основной фон — это фон от накопителя, который снижается за счет: 1) совпадений с сцинтилляционными счетчиками. 2) восстановления места вылета частиц из пучка по координатам в искровых счетчиках; 3) отбора событий по времени относительно фазы высокочастотного напряжения с резонатора накопителя. При этом ожидаемый фон будет на уровне нескольких процентов от числа полезных событий.

Л и т е р а т у р а

- I. В.Л.Ауслендер, Г.И.Будкер, Е.В.Пахтусова и др. ЯФ, 1969, 9 69.
D.Benaksas, G.Cosme, B.Jean-Marie et.al. Phys.Letters, 1972, 39B, 289.
A.Borelli, M.Bernardini, D.Bollini et.al. Phys. Letters, 1973, 44B, 393.
A.Quenzer, F.Rumph, J.Bertand et.al.Preprint LAL 1282 (October 1975). Symposium on Lepton and Photon Interactions at High Energies. Stanford, 1975.
2. Р.Фейнман "Взаимодействие фотонов с адронами". Мир, Москва, 1975.
3. M.Basile, D.Bollini, G.Gagaromeo et.al. Nouve Cim. 1976, Vol. 34A, № 1.
4. В.М.Аульченко, Г.И.Будкер, И.В.Вассерман и др. Препринт ИЯФ 75-65, Новосибирск. 1975.
5. V.V.Parchomchuck, Yu.N.Pestov, N.V.Petrovykh, Nucl.Instr. and Meth.1971, 93, 269.
6. В.Д.Лаптев, Ю.Н.Пестов, Н.В.Петровых, ПТЭ, 1975, 6, 36.
7. В.Д.Лаптев, Ю.Н.Пестов, ПТЭ, 1975, 6, 41.
- 8 А.Д.Афанасьев, В.Д.Лаптев, Ю.Н.Пестов, Б.П.Санников. ПТЭ, 1975, 6, 39.
9. В.Д.Лаптев, Ю.Н.Пестов, Н.В.Петровых и др. Доклад на XXI Всесоюзной конференции по космическим лучам. Якутск, 1977.
10. J.W.Keuffel, Rev. Scient. Instr. 1949, 20, 177.
К.Е.Завойский, Г.Е.Смолкин. Атомная энергия, 1956, 4, 46.
11. М.И.Дайон, Б.А.Долгошеин, В.И.Ефременко, Г.А.Лексин, В.А.Любимов. "Искровая камера", Атомиздат, 1967.
12. В.М.Карлинер. Препринт ИЯФ "Работы молодых специалистов ИЯФ", 1975, 41, Новосибирск.
13. Д.К.Весновский, Б.А.Лазаренко, Д.М.Николенко и др. Доклад на семинаре по обработке физической информации. Ереван, 1975.

Работа поступила - 3 августа 1977 г.

Ответственный за выпуск -- С.Г.ПОПОВ
Подписано к печати 29.УШ-1977г. МН 02970
Усл. I, I печ.л., 0,9 учетно-изд.л.
Тираж 250 экз. Бесплатно
Заказ №78.

Отпечатано на ротапинтере ИЯФ СО АН СССР