



1315

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

А.С. Кузнецов, С.Б. Нурушев, Хань Вэ-цюань

1315

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОГАБАРИТНОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ ФЭУ-85
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
НА ПУЧКАХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ

Дубна 1963

А.С. Кузнецов, С.Б. Нурушев, Хань Вэ-цюань

1315

ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОГАБАРИТНОГО ФОТОУМНОЖИТЕЛЯ ФЭУ-35
В ЭКСПЕРИМЕНТАХ
НА ПУЧКАХ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЧАСТИЦ

Дубна 1963

1. Испытания фотоумножителя ФЭУ-35

Малогобаритный умножитель ФЭУ-35 имеет восемь динодов. При напряжении 1500 вольт коэффициент усиления $\sim 10^6$. Амплитуда импульсов на аноде при нагрузке 750 ом, измеренная осциллографом ДЭСО-1 для 20 экземпляров ФЭУ, находилась в пределах 1 - 3 вольта, длительность импульса составляла 20-30 нсек. При измерении использовался пластический сцинтиллятор толщиной 5 мм, который облучался γ -квантами от Co^{60} . Делитель напряжения для умножителя ФЭУ-35 выбирался таким образом, чтобы амплитуда выходного импульса имела максимальное значение. При этом подбирались величины двух первых и трех последних сопротивлений. Полученное распределение напряжений между динодами для десяти ФЭУ-35 приведено в таблице 1. В последней строке указаны средние значения соответствующих величин. Вследствие значительного разброса в величинах сопротивлений и низкого усиления ФЭУ-35 невозможно рекомендовать для него единый высоковольтный делитель.

Т а б л и ц а 1.

Распределение напряжений между динодами для десяти ФЭУ-35 при достижении максимальной амплитуды выходного импульса

U_{ϕ} (В)	I_D (мА)	Напряжение между каскадами (вольт)								
		Катод-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-земля
1600+	0,92	166+	250+	92+	92+	92+	92+	144+	113+	186+
1800	1,1	465	445	113	113	113	113	215	325	245
1680	1	340	330	101	101	101	101	174	218	207

Для определения зависимости амплитуды импульсов на выходе умножителя от размеров сцинтиллятора была собрана установка с перемещающимся γ -источником при неподвижном счетчике. Узкий лучок γ -квантов облучал сцинтиллятор в точках, отстоящих на разных расстояниях L от фотокатода. Фотоумножитель работал в линейном режиме, и ток с анода умножителя подавался на вход самописца ЭППВ-51 М1, который выдавал диаграмму относительной величины тока в зависимости от L . Сцинтиллятор имел размеры 200x20x10 мм и находился в оптическом контакте с катодом умножителя. Было установлено, что величина тока резко падает на участке сцинтиллятора длиной 50 мм, а далее меняется слабо /рис. 1, кривая 1/. Однородность светосбора оказалась при этом лучше, чем в случае, когда сцинтиллятор покрыт алюминиевой фольгой /кривая 3/. Однако наилучшая однородность светосбора получилась при установке сцинтиллятора на световоде длиной 80 мм /кривая 2/.

При работе в магнитном поле ≥ 100 эрстед оказалось достаточным экранировать фотоумножители с двух сторон плоскими железными листами толщиной 3 мм. Листы рас-

полагались параллельно магнитному полю и по высоте были больше умножителя на 50 мм.

Для выяснения возможностей работы ФЭУ-35 в сочетании со схемами быстрых совпадений были использованы два типа схем совпадений: схема Руденко^{/1/} и мостовая схема совпадений^{/2/}. На рис. 2 показана упрощенная блок-схема совпадений Руденко. Для укорочения импульсов был применен метод двойного формирования^{/3/}. Два импульса противоположных полярностей снимались с анода и последнего диода ФЭУ-35 и транслировались по кабелю РК-50 длиной 20 метров. Импульс от диода положительной полярности задерживался по отношению к импульсу от анода отрезком кабеля длиной $2L + L_T$, где L — длина формирующего отрезка, а L_T — дополнительная длина кабеля, соответствующая времени пролета электронов от последнего диода до анода. При указанных на рисунке величинах задержки, амплитуда полезного импульса /положительной полярности/, полученного двойным формированием, составляла 1,8 вольт, в то время как первоначальные импульсы имели амплитуду 1 вольт. После ограничения диодами D_1 и D_2 / на уровне 0,4 вольта импульсы поступали на входы схемы совпадений. Импульсы совпадений усиливались, дискриминировались и поступали на регистрирующее устройство. Кривая 3 задержанных совпадений, снятая при работе с γ -источником, показала, что разрешающее время схемы составляет 3 нсек.

На протонном пучке синхротрона была испытана работа ФЭУ-35 вместе с мостовой схемой совпадений. Перед схемой совпадений импульсы ограничивались усиленным каскадом на лампе 6Ж9П и формировались обычным образом. Коэффициент отбора каждой из двукратных схем совпадений был равен пяти. Разрешающее время, как видно из кривой задержанных совпадений /рис. 3а/, было 7 нсек. В качестве элемента отбора медленных схем совпадений применялась схема Гарвина, разрешение которой составляло 14 нсек /рис. 3б/. Счетные характеристики в зависимости от напряжения питания фотоумножителей и порога дискриминации /рис. 4 а,б/ имеют четко выраженное плато, что свидетельствует об эффективности телескопа, близкой к 100%.

Поскольку в литературе мало сведений об использовании обычных диодных ограничителей в области импульсов наносекундной длительности, ниже несколько подробнее рассматриваются условия их работы. На рис. 5 показана схема ограничителя на диоде^{/4/}. В стационарном режиме через диод протекает ток I_0 . Величина $I_0 R_1$ определяет уровень ограничения выходного напряжения. При указанном значении $R_1 = 220$ к ток $I_0 = 1,1$ ма, и ограничение импульса положительной полярности происходит на уровне 0,4 вольта. Для ограничения импульсов отрицательной полярности необходимо поменять местами точки входа и выхода импульсов, т.е. импульс отрицательной полярности подать в точку II, а выходной импульс снять с точки I. При этом уровень ограничения выходного напряжения определяется произведением $I_0 R_2$.

Входные импульсы снимались со счетчика, сцинтиллятор которого облучался α -лучами плутония. Для получения импульсов положительной полярности использовался трансформатор, который был намотан на ферритовое кольцо с $\mu = 1000$. При малых значениях амплитуд входных импульсов выходные импульсы с ограничителя подавались

на вход осциллографа ДЭСО-1 через чувствительный дискриминатор, собранный на лампе 6В1П. Измеряя порог запирающего дискриминатора U , можно было определить в относительных единицах амплитуду ограниченного импульса. На рис. 6 приведена зависимость величины U от высокого напряжения, приложенного к фотоумножителю, для различных типов диодов. Как видно, из испытанных диодов наилучшим в качестве ограничителя является диод Д-10. Известно, что диод Д-10 обладает малым временем переключения^{/5/}, что делает выгодным его применение и в схемах совпадений.

Работа диода Д-10 как ограничителя импульсов была проверена также и при больших амплитудах с помощью импульсов от ртутного генератора. При этом амплитуды входных и ограниченных выходных импульсов измерялись непосредственно на осциллографе ДЭСО-1. На рис. 7 показаны усредненные результаты испытаний шести диодов Д-10. Пунктирная прямая соответствует зависимости выходных импульсов от амплитуды входных при отсутствии ограничения. Сплошная линия соответствует уровню ограничения при различных величинах входного импульса. Как можно видеть, изменение входного напряжения в 10 раз /от 2 до 20 вольт/ приводит к изменению выходного напряжения в пределах 0,5 - 0,8 вольт, т.е. имеет место достаточно хорошее ограничение импульсов.

Работа ограничителя с отрицательными импульсами была проверена на протонном пучке ускорителя. На рис. 8 показана полученная при этом зависимость амплитуды выходного импульса от разных величин высокого напряжения, подаваемого на фотоумножитель. Светлые кружки соответствуют амплитудам входных импульсов, точки — значениям выходных импульсов.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. малогабаритный умножитель ФЭУ-35 может успешно работать на пучках релятивистских частиц в сочетании со схемами совпадений наносекундного диапазона;
2. схема ограничения на диодах Д-10 в ряде случаев может успешно работать с импульсами наносекундной длительности;
3. можно осуществить двойное формирование импульсов с использованием импульсов от анода и последнего диода фотоумножителя.

II. Схемы многократных совпадений и антисовпадений для годоскопа на сцинтилляционных счетчиках

В литературе описано несколько типов годоскопических систем, построенных на сцинтилляционных счетчиках^{/6-8/}. Одним из основных элементов во всех этих системах являются схемы двукратных совпадений. Однако при постановке экспериментов по тройному рассеянию протонов более рациональными оказываются схемы многократных совпадений. Ниже рассматривается элемент годоскопической системы, состоящий из 10 сцинтилляционных счетчиков на фотоумножителях ФЭУ-35.

Схема расположения счетчиков приведена на рис. 9. Счетчики 1-5, 7 и 4,5,7-10 объединены в две 6-кратные схемы совпадений, а счетчики 4-7 — в четырехкратную схему совпадений. Импульс с 4-кратной схемы совпадений использовался в качестве запре-

щающего в схеме антисовпадений /А.С./, через которую пропускались импульсы от 6-кратных совпадений /рис. 10/.

На рис. 11 приведена принципиальная схема элемента годоскопической системы. Импульсы отрицательной полярности с анода ФЭУ-35 подаются на первичную обмотку трансформатора, сделанного на ферритовом кольце диаметром 10 мм, $\mu = 1000$. Для выбора оптимального значения коэффициента трансформации K с помощью чувствительного дискриминатора были проведены измерения амплитуды импульсов при различных значениях K . Полученные таким образом данные показали, что оптимальное значение коэффициента трансформации равно трем при наличии на конце кабеля формирующей линии РК-50 длиной 1 метр. Со вторичной обмотки трансформатора снимались импульсы положительной полярности и подавались по кабелю РК-50 на вход усилителя /Л₁, Л₂/. Каскад усилителя на лампе Л₂ ограничивал импульсы по амплитуде, а также формировал по длительности с помощью отрезка кабеля РКЗ-400 длиной 10 см, включенного в анодную цепь. Сформированные таким образом импульсы подавались на схемы совпадений, выполненные на диодах Д-10А по схеме Гарвина. Выбор типа диодов был произведен путем сравнения результатов работы схем, построенных на различных диодах /Д-2В, Д10А, Д11, Д12, Д14/. Лучшие результаты были получены с диодами Д10А, что объясняется, по-видимому, тем, что диод Д10А обладает относительно меньшим временем переключения, чем другие испытанные нами диоды /5/. Импульсы 6-кратных совпадений через лампу Л₃ и линию задержки подавались на вход схемы антисовпадений /8/. На второй вход схемы поступали запрещающие импульсы от 4-кратной схемы совпадений, после их усиления и формирования каскадами на лампах Л₄, Л₅, Л₆. Линия задержки, необходимая для согласования времени прихода импульсов на входы схемы антисовпадений, была сделана из отрезка кабеля РКЗ-403 длиной 12 см. Импульсы со схемы антисовпадений усиливались выходным усилителем Л₇ Л₈ и через катодный повторитель Л₉ подавались по кабелю типа РК-50 или РК-19 на регистрирующее устройство. В случае работы схемы на кабель РК-50 выходные импульсы имели амплитуду 20 вольт, а при работе на кабель РК-19 - 6 вольт. Коэффициент отбора 6-кратной схемы совпадений, измеренный на выходе усилителя, равен 10.

При работе на пучке протонов были изучены остальные характеристики схемы. На рис. 12 показана зависимость счета 6-кратных совпадений от задержки в одном из каналов при отключенном канале антисовпадений. Как видно из рисунка, кривая имеет плато шириной 12 нсек, с резкими спадами по краям; разрешающее время схемы совпадений ≈ 8 нсек.

На рис. 12 б показана счетная характеристика схемы антисовпадений. Включение канала антисовпадений приводит практически к полному подавлению счета, как и должно быть по условиям физического эксперимента в случае 100% эффективности схемы. При сдвиге импульсов антисовпадений в канале 6 происходит полное восстановление счета. Разрешающее время схемы антисовпадений оказалось равным 16 нсек.

На следующем рисунке /рис. 13 а/ приведена счетная характеристика схемы совпадений в зависимости от напряжения питания фотоумножителей. Плато шириной около 500 вольт свидетельствует о высокой эффективности работы схемы совпадений. На рис. 13 б

показана зависимость скорости счета от напряжения питания на счетчике антисовпадений. При низком напряжении питания, когда импульсы от счетчика антисовпадений еще малы, счет 6-кратных совпадений не меняется. С увеличением напряжения на счетчике антисовпадений начинается подавление счета, которое продолжается при дальнейшем увеличении напряжения.

На рис. 13 в даны счетные характеристики схемы совпадений в зависимости от уровня дискриминации на выходном дискриминаторе для случая отключенного канала антисовпадений. На рис. 13 г приведены характеристики счета в зависимости от напряжения на дискриминаторе четырехкратной схемы совпадений /Л₆/.

Полученные экспериментально результаты свидетельствуют о том, что эффективность рассмотренных схем совпадений и антисовпадений близка к 100%. Элемент годоскопа, изготовленный по описанным схемам, в настоящее время используется в эксперименте по тройному рассеянию протонов на ядрах углерода.

Авторы пользуются случаем выразить благодарность М.Г. Мещерякову за постоянное внимание к работе, Ю.К. Акимову за полезные замечания при разработке схем, а также Л.В. Будкину, В.М. Прибору, Г.В. Рыкову и Т.Ф. Облаковой за помощь при изготовлении и испытании аппаратуры.

Л и т е р а т у р а

1. А.А. Руденко. ПТЭ, № 6, 60 /1958/.
2. А.В. Куценко. ПТЭ, № 1, 3 /1960/.
3. В.С. Надежин. ПТЭ, № 2, 102 /1961/.
4. Ю.К. Акимов, А.С. Кузнецов, ПТЭ, № 1, 92 /1961/.
5. Л.В. Кутуков. Препринт ИТМ и ВТ АН СССР, 1961.
6. Ю.Д. Баюков, Ю.М. Зайцев, М.С. Козодаев, Г.А. Лехсин, Г.П. Молотков, Д.А.Сучков, В.Б. Федоров. 8-канальная годоскопическая система с использованием сцинтилляционных детекторов. Conference Proc., Belgrade, International Atomic Energy Agency, Vienna, p.309 (1962).
7. L.D.Heggie, G.E.Masek. Rev. Sci. Instr., 32, 193 (1961).
8. C.Wiegand. Proc. Intern. Conf. on Instr. for High-Energy Physics p.182 (1960).
9. А.А. Руденко. ПТЭ, № 2, 59 /1962/.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 июня 1963 года.

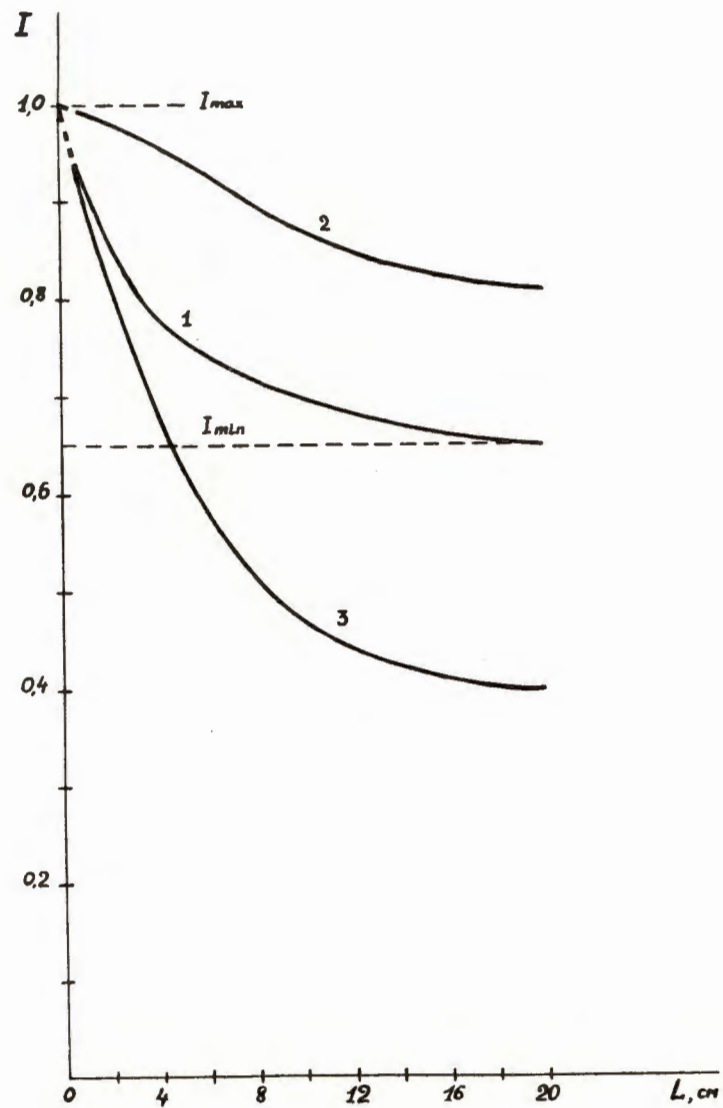


Рис. 1. Выходной ток умножителя /в относительных единицах/ в зависимости от расстояния L между фотокатодом и точкой облучения сцинтиллятора: кривая 1-сцинтиллятор установлен непосредственно на фотокатод; кривая 2- сцинтиллятор установлен на световоде высотой 80 мм; кривая 3- сцинтиллятор установлен непосредственно на фотокатод и покрыт отражающими фольгами. Все кривые нормированы на единицу при $L=0$.

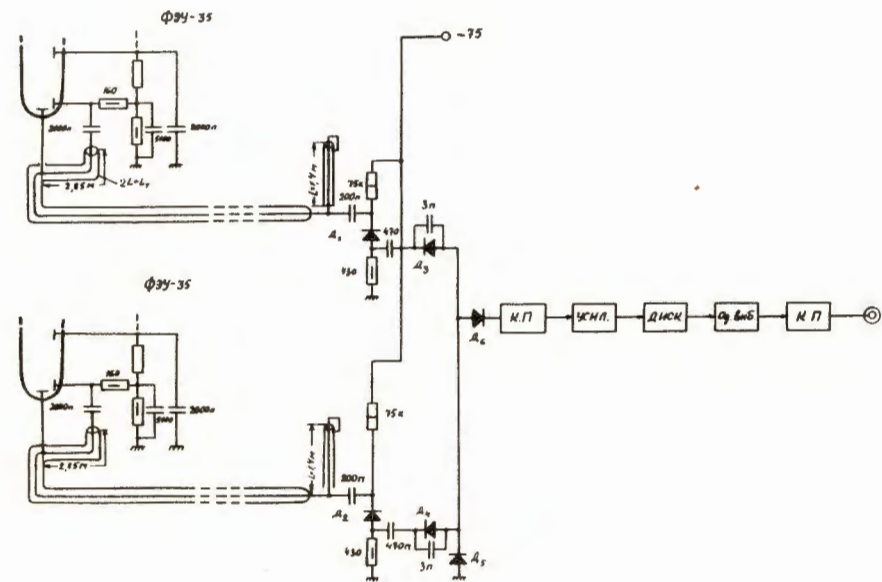


Рис. 2. Схема совпадений Руденко с двояким ограничением и двояким формированием импульсов на входе.

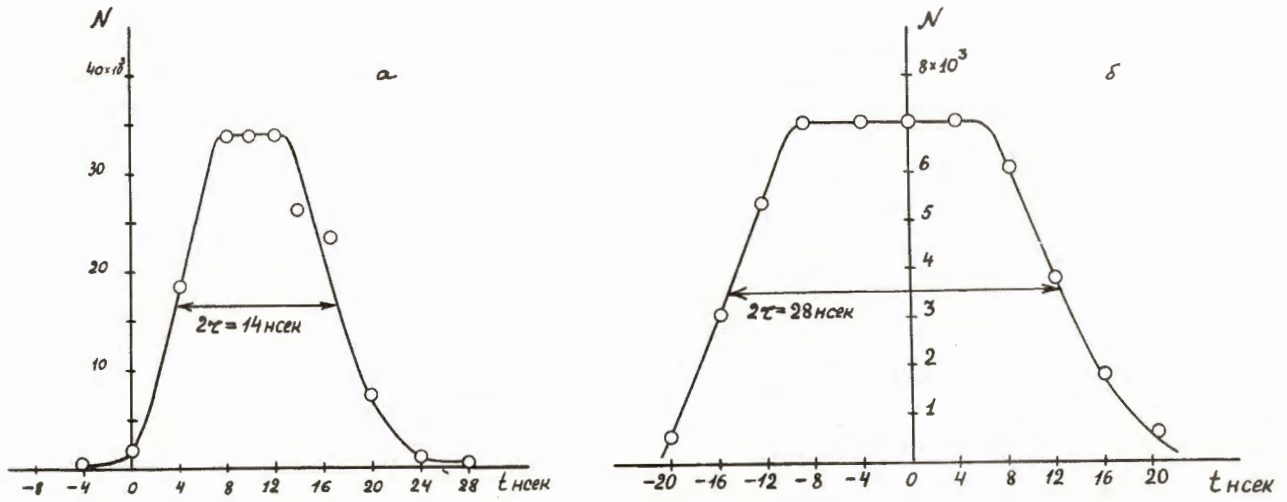


Рис. 3. Кривая задержанных совпадений: а/для мостовой схемы, б/для схемы Гарвина.

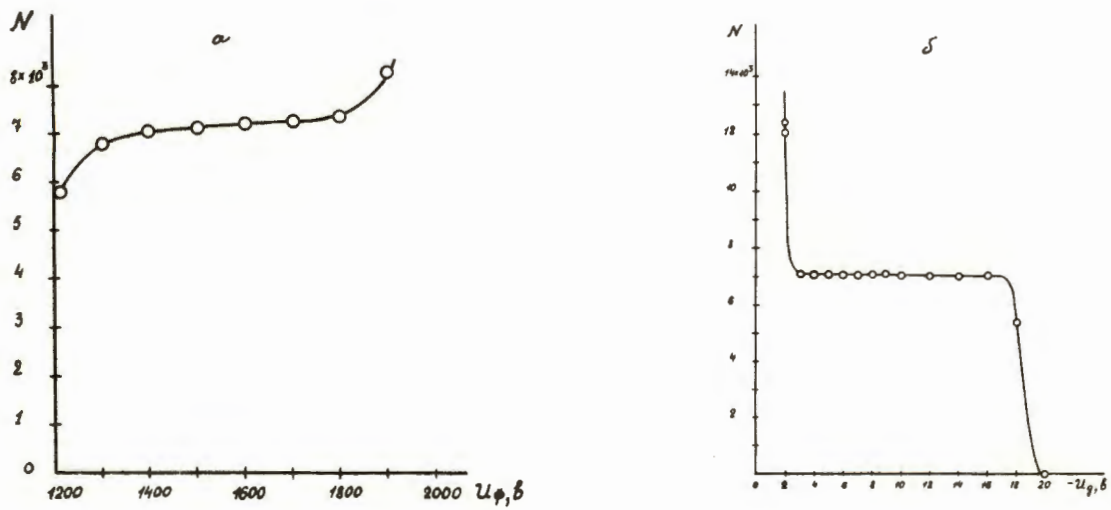


Рис. 4. Счетные характеристики мостовой схемы совпадения: а/ зависимость счета от напряжения питания умножителя; б/ зависимость счета от напряжения дискриминации. Число импульсов отнесено к единице отсчета монитора.

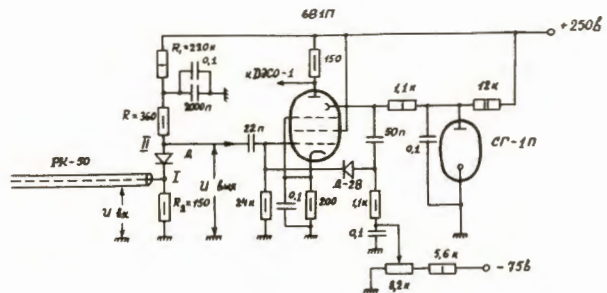


Рис. 5. Схема испытания диодного ограничителя при работе с импульсами наносекундной длительности.

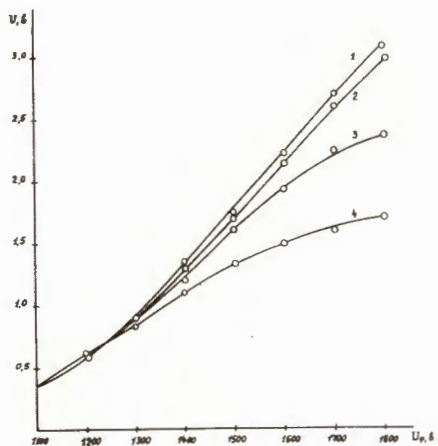


Рис. 6. Запирающее напряжение дискриминатора U в зависимости от напряжения питания ФЭУ-35 для различных типов диодов: 1-Д12, 2-Д14, 3-Д2В, 4-Д10.

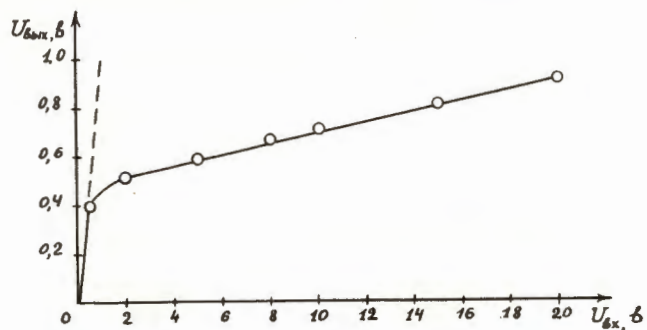


Рис. 7. Зависимость выходного импульса ограничителя от величины импульса на входе. Пунктирная линия соответствует случаю отсутствия ограничения.

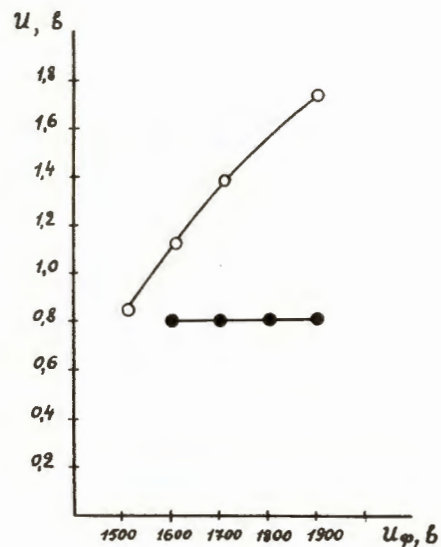


Рис. 8. Зависимость выходного импульса ограничителя от напряжения питания ФЭУ-35 при работе на пучке протонов. Кружками показаны амплитуды входных импульсов.

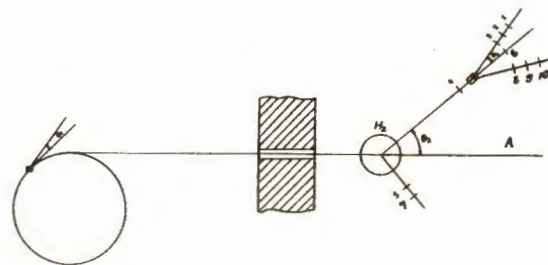


Рис. 9. Схема расположения счетчиков в опытах по тройному рассеянию протонов.

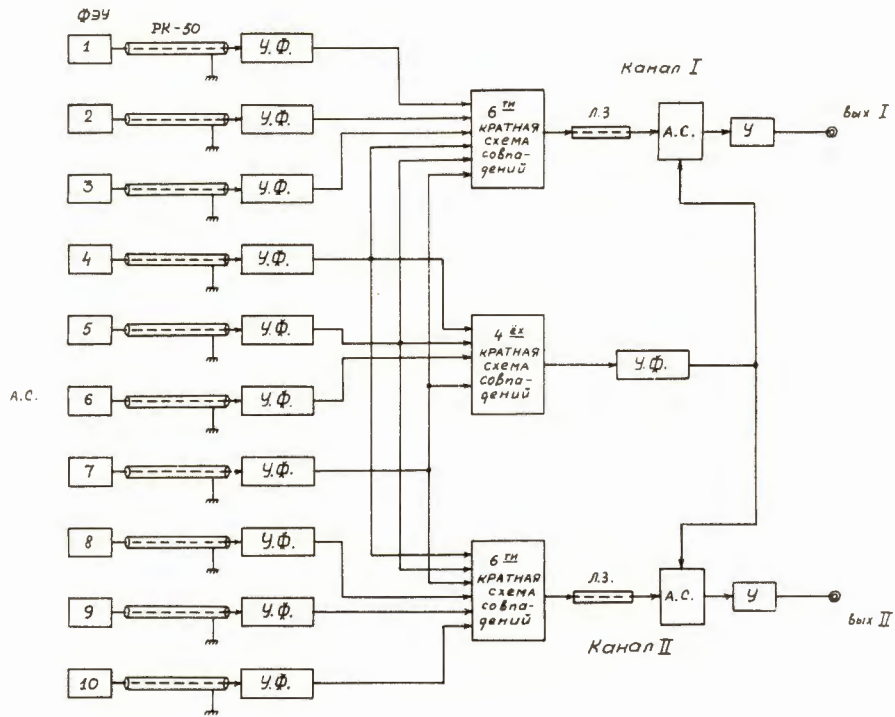


Рис. 10. Блок-схема электронной аппаратуры.

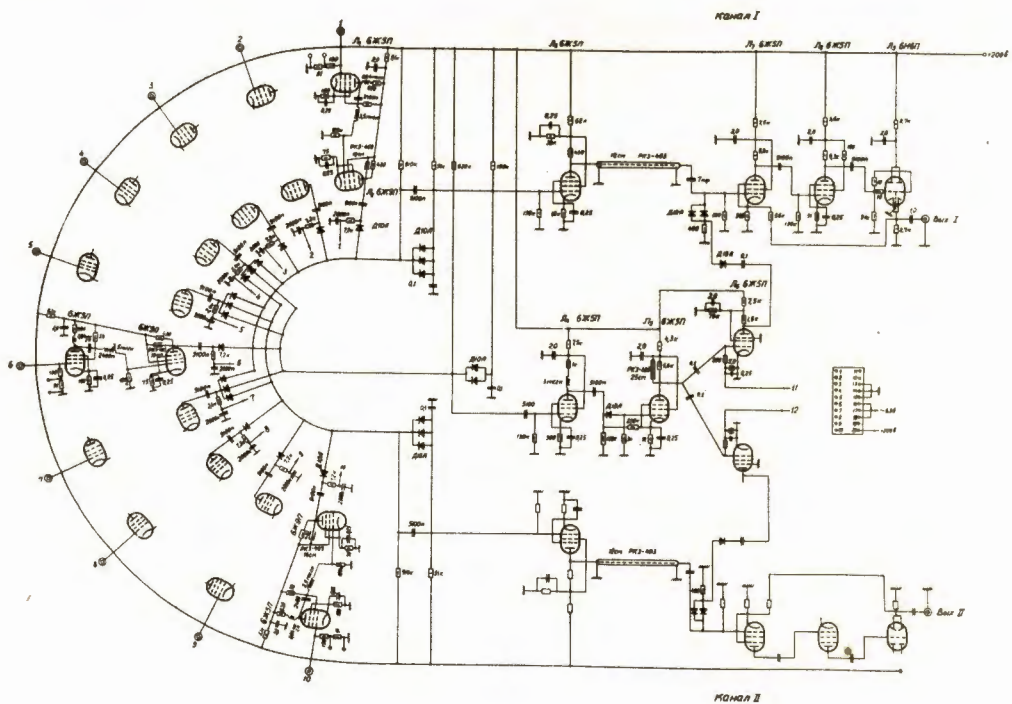


Рис. 11. Принципиальная схема элемента годоскопа.

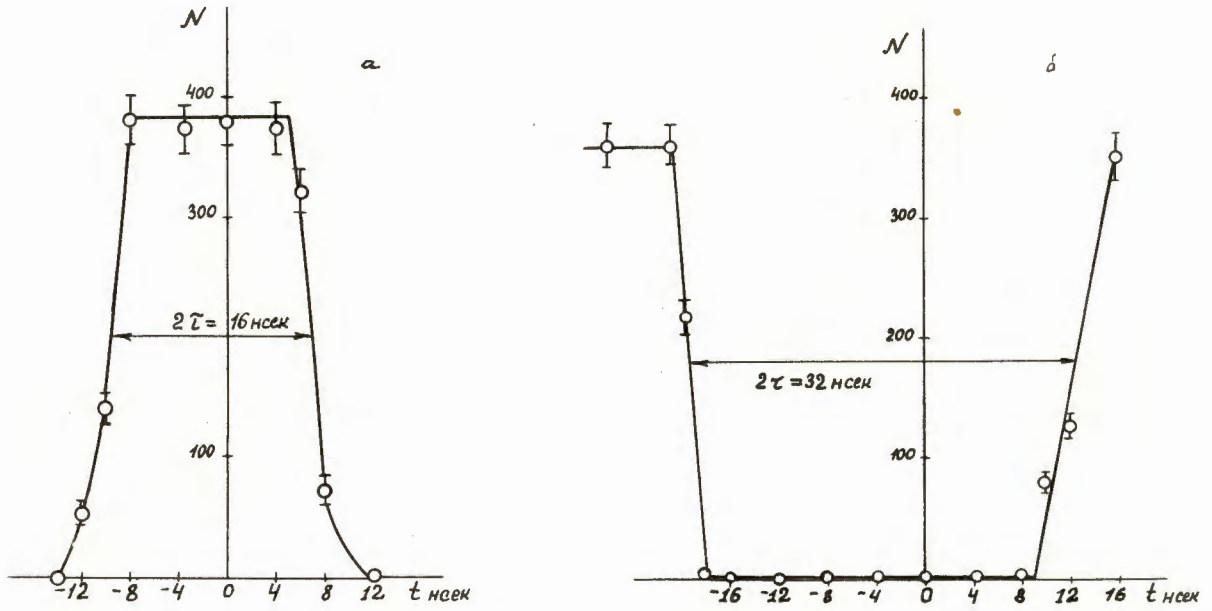


Рис. 12. Экспериментальные характеристики схем совпадений: а/ счетная характеристика схемы шестикратных совпадений при включении линии задержки в один из каналов; б/ счетная характеристика схемы антисовпадений в зависимости от задержки импульсов в канале антисовпадений.

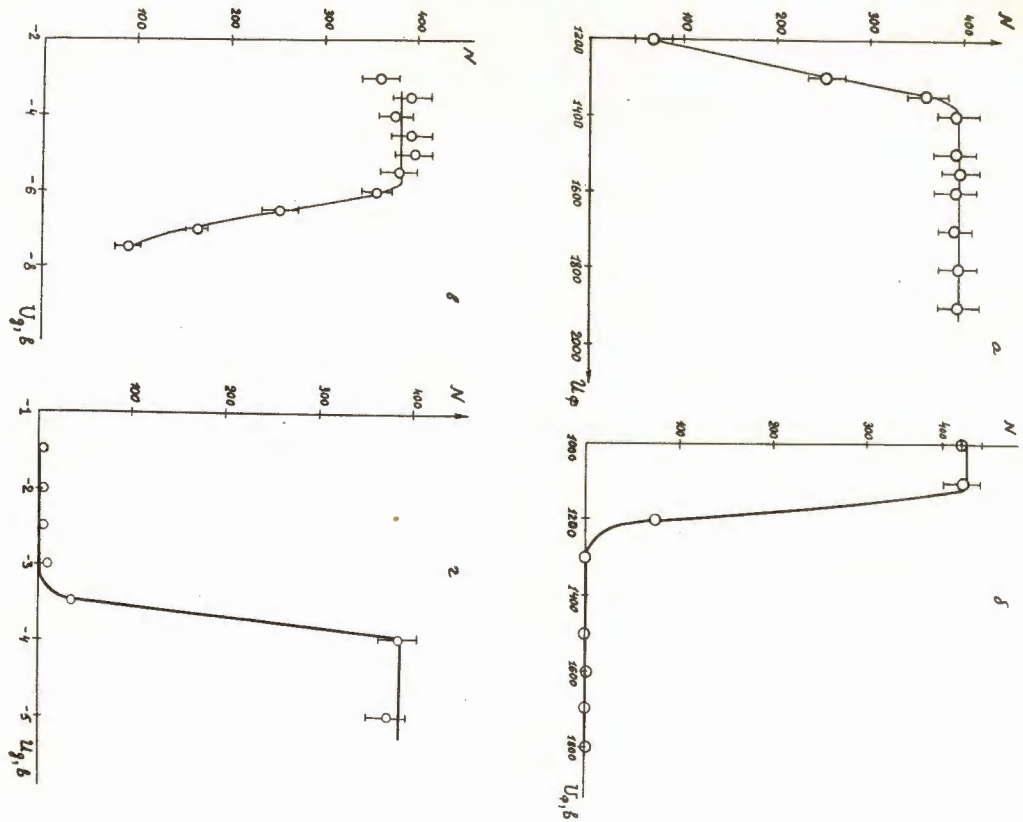


Рис. 13. Счетные характеристики схем: а/ зависимость счета от напряжения питания умножителей при отключенном антисовпадательском канале; б/ зависимость счета от напряжения питания антисовпадательского счетчика; в/ зависимость счета от напряжения задержки на выходном дискриминаторе при отключенном антисовпадательском канале; г/ зависимость счета от напряжения задержки на дискриминаторе задержанного импульса схемы антисовпадений.