

15
Д-83



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

А.Ф. Дунайцев, Ю.Д. Прокошкин

1415

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ СХЕМА
СОВПАДЕНИЙ И АНТИСОВПАДЕНИЙ
С МАЛЫМ РАЗРЕШАЮЩИМ ВРЕМЕНЕМ**

Дубна 1963

А.Ф. Дунайцев, Ю.Д. Прокошкин

1415

2128/1 чд
1/8 2017

МНОГОКАНАЛЬНАЯ СХЕМА
СОВПАДЕНИЙ И АНТИСОВПАДЕНИЙ
С МАЛЫМ РАЗРЕШАЮЩИМ ВРЕМЕНЕМ

Направлено в ПТЭ

Объединенный институт
ядерных исследований
Библиотека

Дубна 1963

Целью настоящей работы являлось создание многоканальной схемы совпадений и антисовпадений с разрешающим временем около 1 нсек, предназначенной для опытов на ускорителях частиц. Поскольку схема должна была использоваться для проведения экспериментов, длящихся непрерывно многие сотни часов, к её эксплуатационным качествам (таким, как надёжность, простота в наладке) были предъявлены повышенные требования. Чтобы удовлетворить этим требованиям, при конструировании схемы были использованы элементы, апробированные многолетней эксплуатационной практикой.

Описание схемы

Выделяющим элементом схемы многократных совпадений и антисовпадений является мост, на входы которого поступают анализируемые электрические импульсы (рис.1).

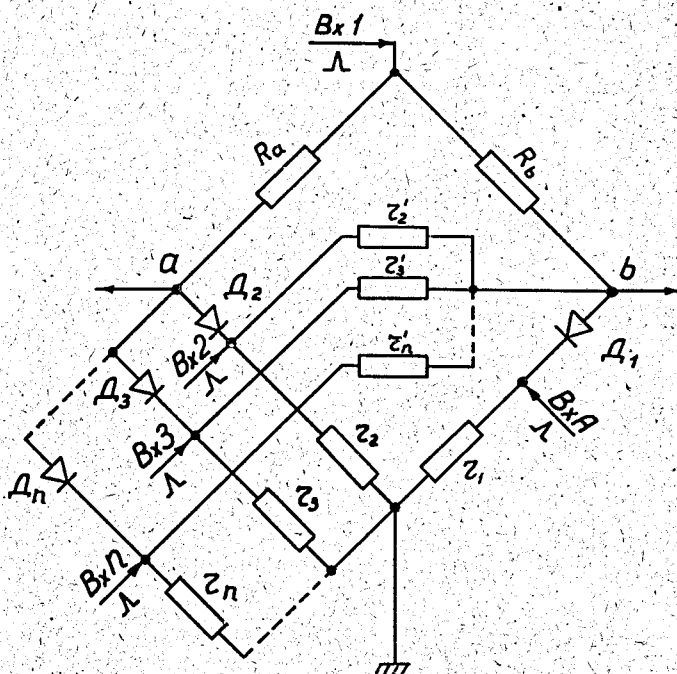


Рис. 1. Мост для n -кратной схемы совпадений с одним каналом антисовпадений.

За основу схемы взята схема двойных совпадений с разрешающим временем 10 нсек [1], от которой описываемая схема отличается многократностью, малым разрешающим временем и возможностью регистрации при помощи одного выделяющего элемента как совпадений, так и антисовпадений импульсов.

Регистрируемые импульсы поступают на входы моста 1, 2, ..., n. Результирующий сигнал снимается между точками а и б. Рассмотрим случай, когда на вход 1 поступает импульс напряжения положительной полярности. При этом в правой ветви моста (R_1, D_1, r_1) возникает ток i_1 , а в левой ветви — i_2 . Сопротивления ветвей подобраны так, что мост сбалансирован: $i_1 R_1 = i_2 R_2$, где $R_1 = r_1 + r_{D1}$, r_{D1} — прямое сопротивление диода D_1 , R_2 — суммарное сопротивление параллельных цепочек из диодов и сопротивлений в левом плече моста. В этом случае импульс на выходе моста равен нулю. Если положительный импульс приходит на любой другой вход (2, 3, ..., n), в точке а возникает небольшой импульс, проходящий туда через запертый диод. Этот импульс компенсируется импульсом той же амплитуды, подаваемым в противоположную точку моста б через соответствующие сопротивления r' , так что сигнал, снимаемый с моста, также оказывается равным нулю. Если импульсы поступают одновременно на 2, 3, ..., n — 1 вход моста, реакция моста практически не отличается от рассмотренных выше случаев.

При одновременном приходе положительных импульсов на все входы моста, кроме входа А, баланс моста нарушается, так как сопротивление левой ветви резко возрастает за счет больших обратных сопротивлений диодов D_2, D_3, \dots, D_n . Величина импульса U_a в точке а будет большей, чем в точке б. Амплитуда результирующего импульса $U_a - U_b$ зависит от соотношения сопротивлений плеч моста. Чтобы выходной импульс был больше, необходимо использовать импульсные диоды с большим обратным сопротивлением и малым временем восстановления обратного сопротивления (ДК-СБ, Д-18).

Отличный от нуля результирующий импульс на выходе моста возникает только в том случае, когда на вход А не поступает импульс антисовпадений. При подаче на этот вход положительного импульса, результирующий импульс совпадения на выходе моста исчезает, так как в правое плечо моста включается большое обратное сопротивление диода D_1 . Схема антисовпадений может быть сделана многократной так же, как и схема совпадений. Для этого к точке б подсоединяются параллельные цепочки, аналогичные подсоединенным к точке а.

На рис. 2 представлена полная электрическая схема n-кратных совпадений с одним каналом антисовпадений. Отрицательные импульсы поступают на сетки ограничивающих лампы, в анодные цепи которых включены короткозамкнутые кабели, формирующие импульсы по длительности. Для запираания лампы формирующего каскада на вход его достаточно подать импульс величиной 2 вольта. Диод в сеточной цепи

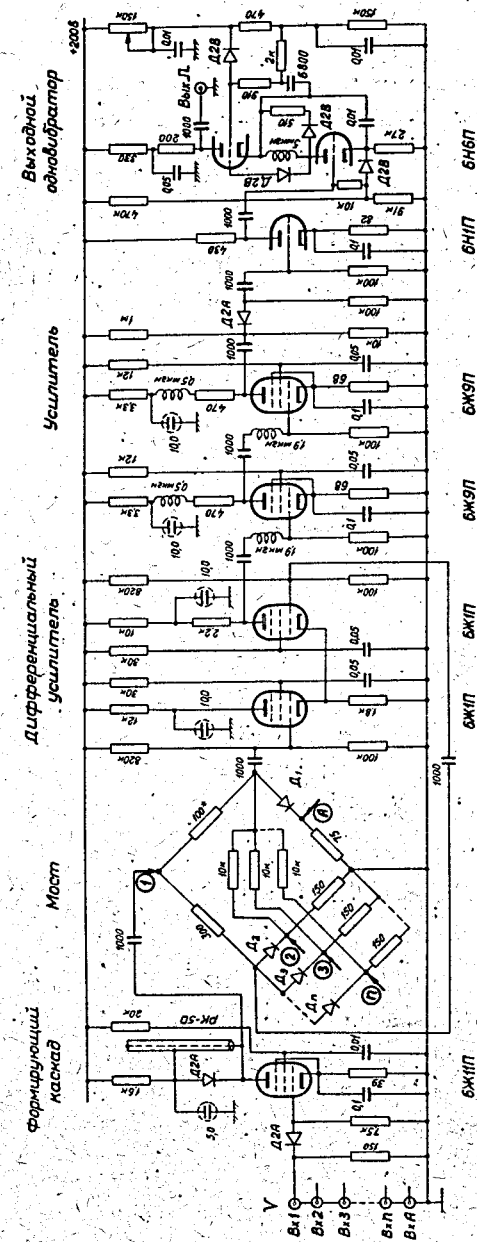


Рис. 2. Электрическая схема n-кратной схемы совпадений с одним каналом антисовпадений.

удлиняет задний фронт импульса до 0,1 мксек, что улучшает условия формирования. Диод, шунтирующий кабель, служит для уменьшения отрицательного выброса у сформированного импульса. Этот диод должен обладать малым прямым сопротивлением.

С анодов формирующих ламп на входы моста поступают положительные импульсы. Результирующий импульс, снимаемый с диагональных точек моста, усиливается дифференциальным усилителем. Отрицательный импульс усиливается далее скорректированным двухкаскадным усилителем (коэффициент усиления - около 50, время нарастания - 15 нсек). С выхода усилителя импульс с амплитудой около 10 вольт поступает на дискриминатор, предназначенный для улучшения коэффициента отбора схемы (отношения амплитуд выходных импульсов, соответствующих случаям совпадения и несовпадения). Далее импульс передается фазоинвертором на выходной одновибратор^{12/}, вырабатывающий импульс длительностью 50 нсек с амплитудой в несколько вольт.

Наладка схемы

Наладка схемы осуществлялась при помощи генератора коротких импульсов с фронтом 0,5 нсек. К выходу усилителя, перед дискриминатором, подключался осциллограф, и величина сопротивления R_b (см. рис. 1) подбиралась так, чтобы коэффициент отбора был больше 20^x . Полученные при наладке схемы зависимости амплитуды выходного импульса $u_{\text{вых}}$ от задержки t между входными импульсами приведены на рис. 3. Эти зависимости позволяют судить о разрешающей способности схемы совпадений. Из рисунка видно, что если ввести после усилителя дискриминацию на уровне 1 вольт (пунктирная прямая), то можно практически полностью подавить импульсы, возникающие в случае несовпадения входных сигналов. Зависимости, приведенные на рис. 3, были измерены для схем различной кратности (вплоть до 5) и оказались аналогичными. На рис. 4 показано, как изменяются параметры кривых, приведенных на рис. 3, с ростом входных сигналов.

Испытание схемы

После того, как схема совпадений была налажена при помощи генератора коротких импульсов, было проведено ее испытание с использованием импульсов от фотоумножителей ФЭУ-33. Источником световых сигналов служил полированный кубик из сцинтиллирующей пластмассы с вмонтированным в него α -активным образцом плутония.

^{x)} Величина R_b может быть подобрана так, что в случае несовпадения входных импульсов на выходе усилителя возникает импульс обратной (положительной) полярности, т.е. коэффициент отбора может быть сделан сколь угодно большим. При этом, однако, несколько понижается чувствительность схемы.

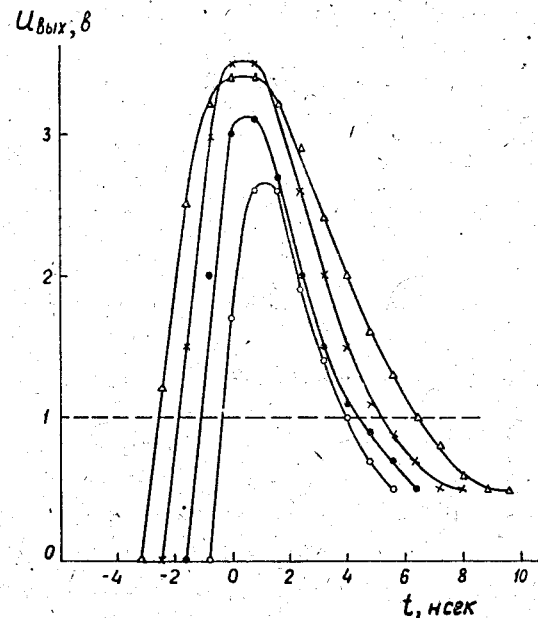


Рис. 3. Зависимость амплитуды выходных импульсов $u_{\text{вых}}$ от задержки t между входными сигналами для схемы двойных совпадений при различных амплитудах входных импульсов от генератора $u_{\text{вх}}$: $u_{\text{вх}}=2\text{в}$ (Δ), 3в (\times), 5в (\odot), 10в (\circ).

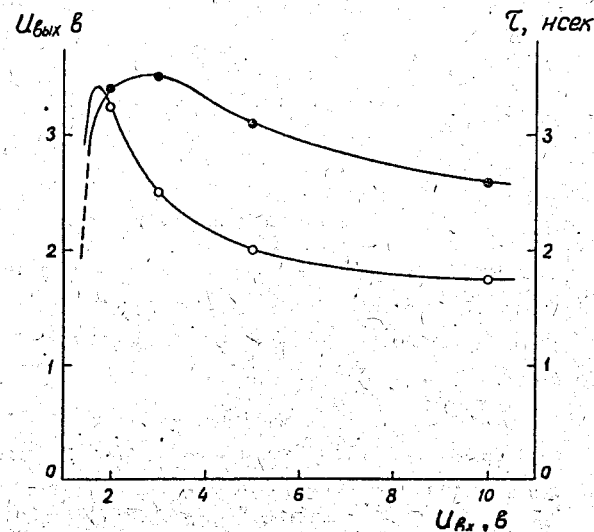


Рис. 4. Зависимость $u_{\text{вых}}$ (\bullet) (в случае совпадений) и полуширины кривых, приведенных на рис. 3, (\circ) от $u_{\text{вх}}$.

Для оценки предельных возможностей схемы совпадений были измерены кривые временного разрешения в случае, когда на два ее входа подавались импульсы от одного фотоумножителя (кривые самосовпадений). Из полученных кривых (рис. 5) видно, что схема обладает эффективностью, близкой к 100%, при разрешающем времени $\tau = 1,5$ нсек. При 50%-ной эффективности τ равно 0,8 нсек. Для полученных кривых разрешения характерен резкий спад вне области совпадения: скорость счета уменьшается на 2,5-3 порядка при изменении задержки на одну наносекунду. На уровне $3 \cdot 10^{-6}$ полуширина кривых разрешения составляет 3,5-4,5 нсек.

На рис. 6 представлены кривые временного разрешения схемы двойных совпадений, измеренные для случая, когда к источнику сцинтилляций были подсоединены два фотоумножителя. При эффективности, близкой к 100%, разрешающее время получено равным 1,6 нсек (верхняя кривая). Спад кривой разрешения составляет 1,5 порядка/нсек, полуширина кривой на уровне $3 \cdot 10^{-5}$ равна 5,5 нсек. Эффективность сохраняется близкой к единице при изменении напряжения питания фотоумножителей в широких пределах: "плато" по напряжению составляет более 400 вольт. Коэффициент отбора на входе дискриминатора превышает 10. Мертвое время схемы совпадений равно 100 нсек.

В описанных выше опытах варьировалась также длина короткозамкнутого кабеля в формирующем каскаде. Длина кабеля была выбрана равной 50 см - при дальнейшем уменьшении длины кабеля разрешающее время практически не уменьшается. Если использовать фотоумножители с меньшим разбросом времени пролета электронов, то длина формирующего кабеля может быть уменьшена. Так, для фотоумножителей 56 АУР нами были использованы формирующие кабели длиной 10-20 см.

Рабочие характеристики схемы

Рабочие характеристики схемы совпадений и антисовпадений были измерены в опытах на пучке π -мезонов с энергией 70 Мэв. Импульсы с анодов ФЭУ-33 подавались на входы схемы через 70-метровые кабели РК-50. На входах формирующих каскадов схемы совпадений помещались согласующие сопротивления.

Зависимость скорости счета π -мезонов от напряжения питания ФЭУ представлена на рис. 7. Как видно из этого рисунка, протяженность "плато" составляет более 600 вольт. Не изменяется также скорость счета и при изменении уровня дискриминации в широких пределах (рис. 8).

Для измерения кривых временного разрешения схемы один из импульсов, поступающих на вход схемы, задерживался при помощи калиброванных отрезков кабеля. С целью контроля часть измерений была выполнена также и другим методом: один из счетчиков смешался вдоль оси пучка, благодаря чему изменялось время пролета π -мезонов. Результаты измерений, выполненных двумя методами, оказались одинаковыми.

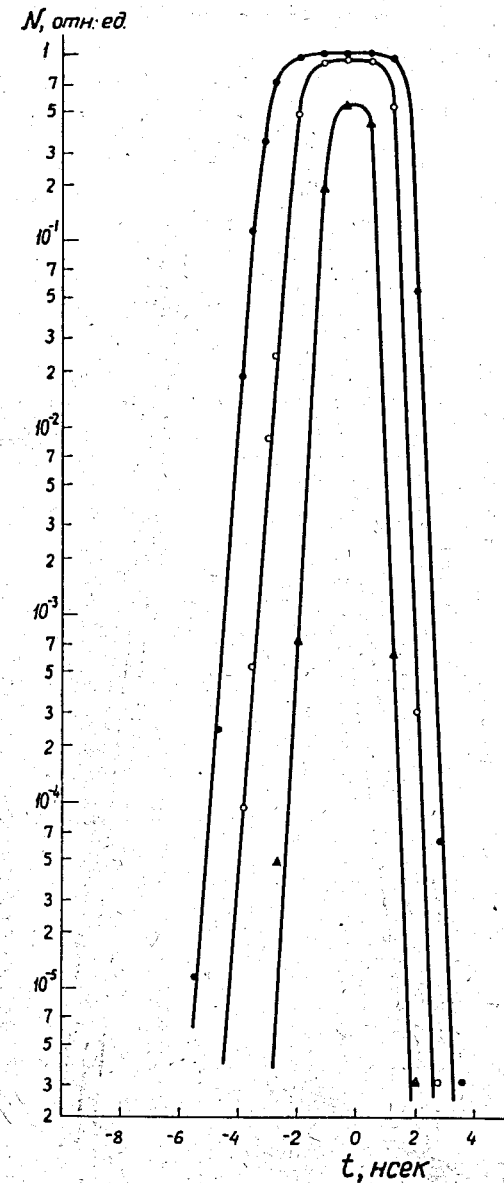


Рис. 5. Кривые временного разрешения схемы двойных совпадений (самосовпадения импульсов от ФЭУ) при различных уровнях дискриминации V_D : $V_D=1v$ (\circ), $2v$ (\square), $3v$ (\triangle).

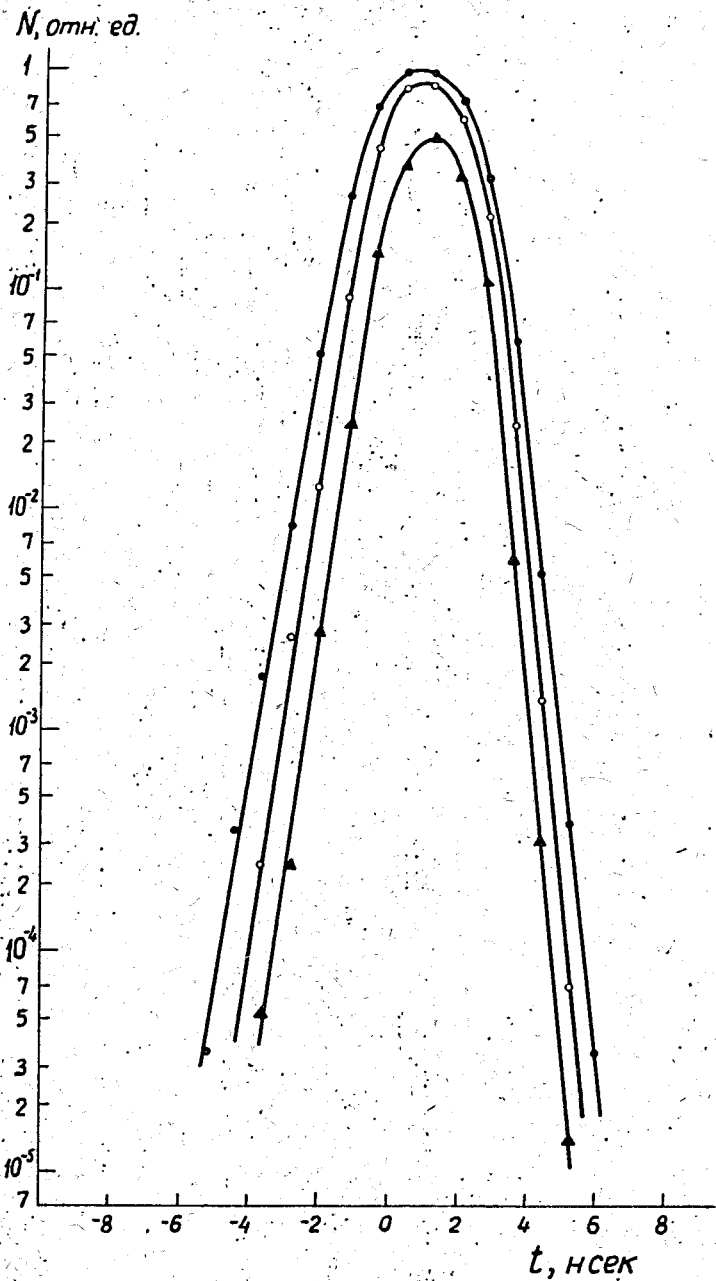


Рис. 8. Кривые временного разрешения для двух ФЭУ-33. $V_D = 2.6$ в (•), 2.8в (◦), 3.2в (▲).

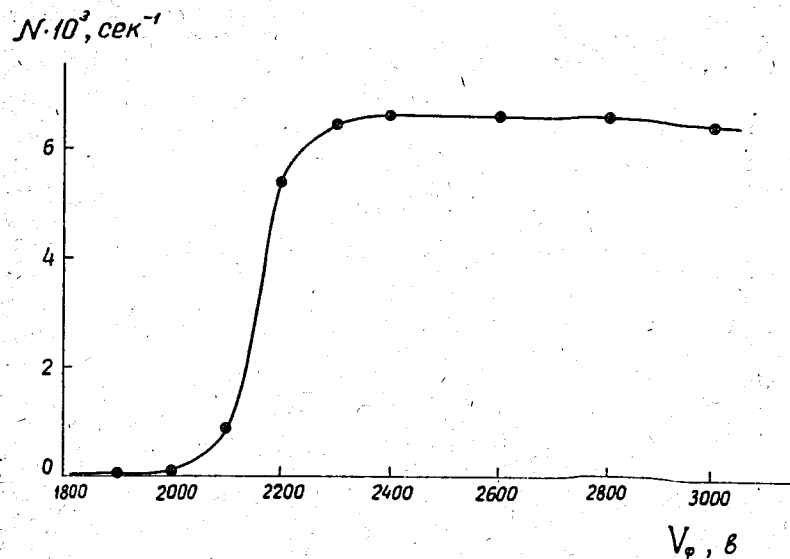


Рис. 7. Зависимость скорости счета π -мезонов схемой двойных совпадений N от напряжения питания фотоумножителей V_ϕ .

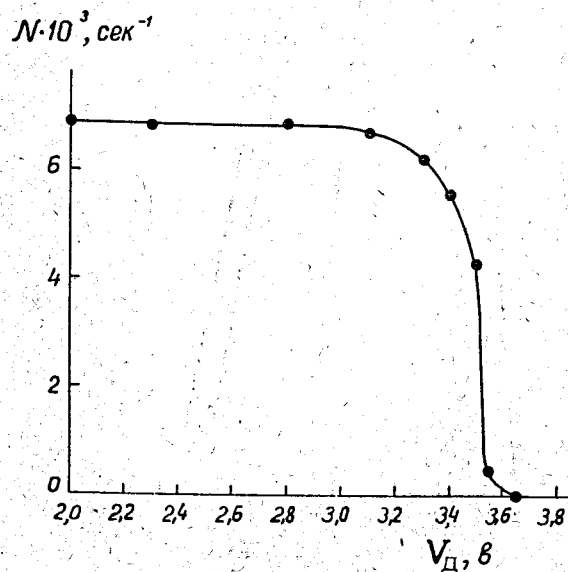


Рис. 8. Зависимость скорости счета π -мезонов от уровня дискриминации V_D .

Кривые разрешения, полученные для схемы двойных совпадений, представлены на рис. 9. Разрешающее время для самой узкой кривой равно 0,8 нсек. Полуширина кривых разрешения на уровне 10^{-4} составляет 3-6 нсек, спад равен 1-1,5 порядка / нсек.

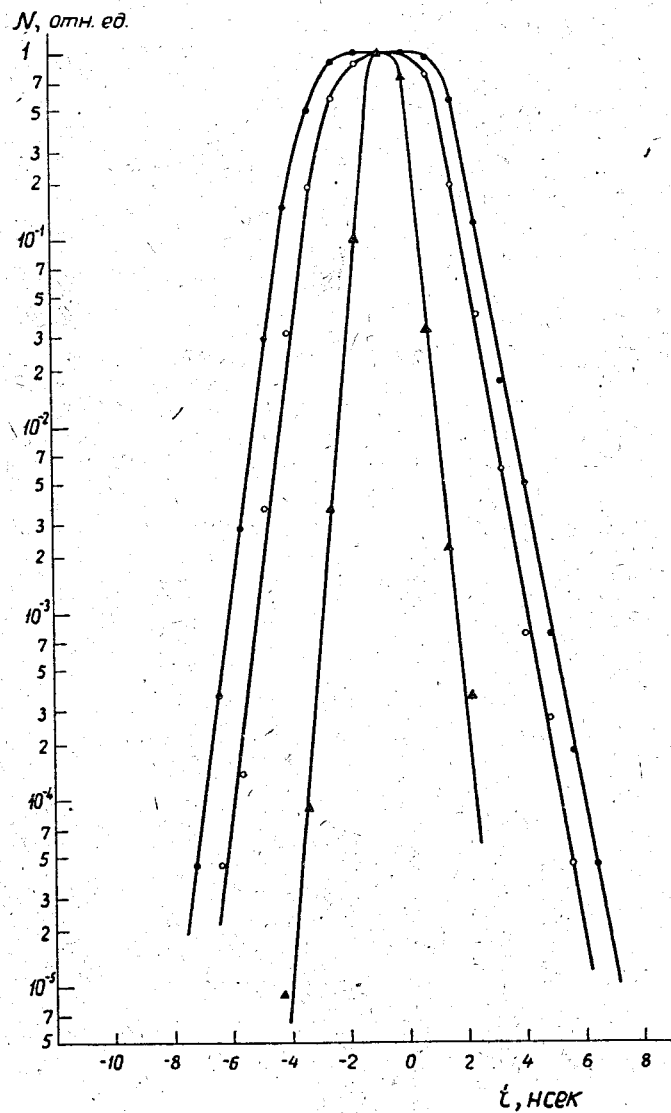


Рис. 9. Кривые временного разрешения схемы двойных совпадений, измеренные на пучке π^- -мезонов $V_D = 1,8$ в (•), 2,2 в (○), 3,2 (▲).

На рис. 10 приведены аналогичные кривые для схемы тройных совпадений. Наиболее узкая кривая имеет $\tau = 0,8$ нсек и соответствует 70%-ой эффективности. При 100%-ой эффективности $\tau = 1,5$ нсек. Спад кривых разрешения равен 1-1,5 порядка / нсек.

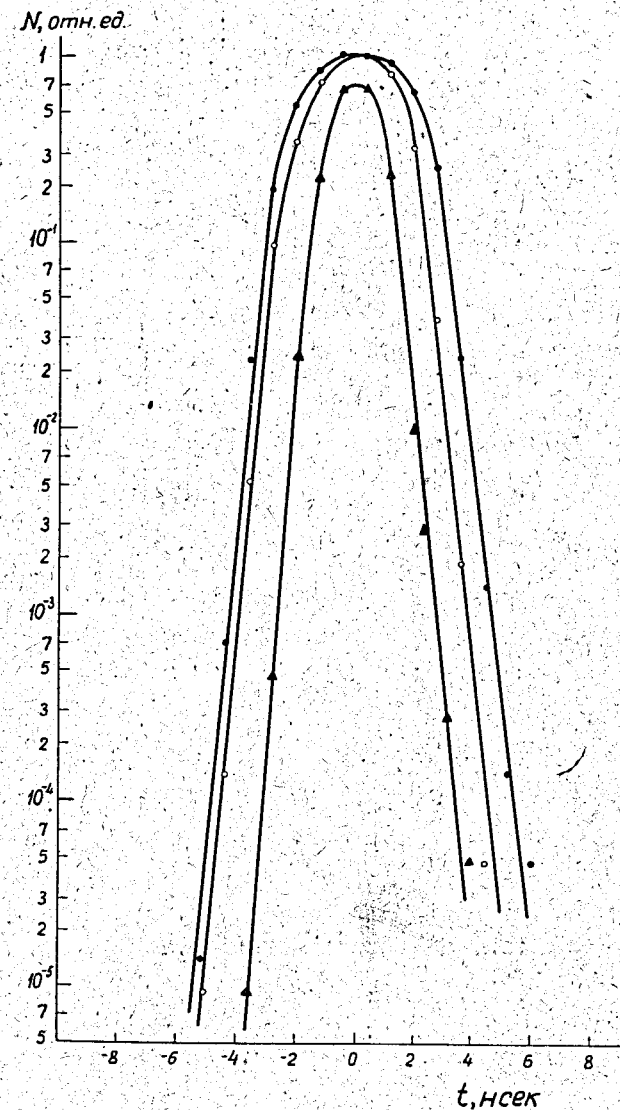


Рис. 10. Кривые временного разрешения схемы тройных совпадений. $V_D = 2,5$ в (•), 2,8 в (○), 3,2 в (▲).

Схемы подобного типа широко применяются в опытах, где изучаются распады π -мезонов и других частиц. Для создания "ворот" в формирующем каскаде одного из каналов схемы был использован 5-метровый короткозамкнутый кабель. Правая кривая представляет собой кривую разрешения, полученную при изменении задержки импульса в одном из двух других входов. Характерным для этой схемы совпадений является то, что, несмотря на большую ширину "ворот", сохраняются крутые спады кривой разрешения. Последнее весьма существенно, так как позволяет регистрировать быстрые распадные процессы с высокой эффективностью и при низком уровне фона случайных совпадений. Применение подобной схемы совпадений позволило обнаружить редкий вид бета-распада π -мезона, вероятность которого в 10^8 раз меньше вероятности обычного распада π -мезона^{13/}.

Для измерения кривых разрешения схемы антисовпадений были использованы три сцинтилляционных счетчика, помещенных в пучок пионов. Два из них были включены в схему двойных совпадений. При включении третьего счетчика в канал А схемы скорость счета уменьшалась в 500 раз. Как видно из рис. 13, схема антисовпадений является быстродействующей и обладает высокой эффективностью.

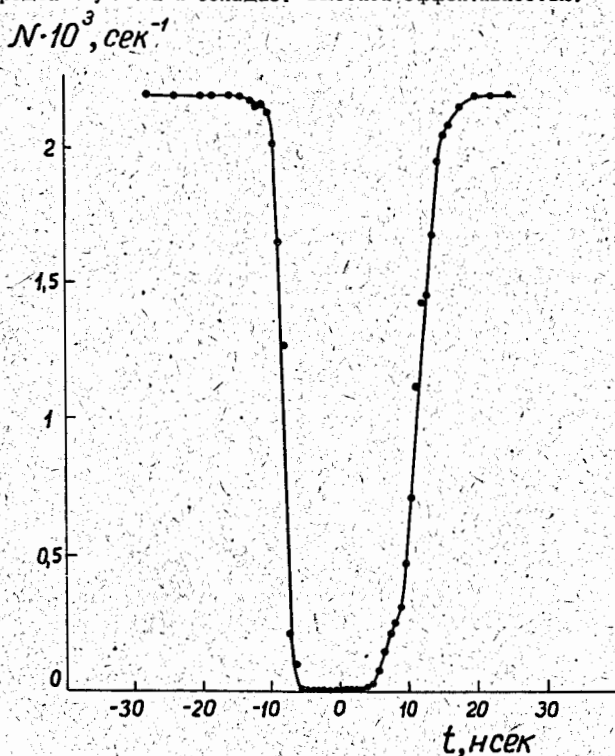


Рис. 13. Зависимость скорости счета π -мезонов N от задержки t в канале антисовпадений.

З а к л ю ч е н и е

Схемы совпадений описанного выше типа использовались нами в опытах на синхротронной Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ в течение пяти лет. При их помощи было выполнено большое количество физических исследований^{/3/}. Настройка схемы является несложной. Длительная эксплуатация схемы показала, что она является надежным прибором.

В заключение мы пользуемся случаем поблагодарить Г.П. Зорина за высококачественное выполнение монтажных работ.

Л и т е р а т у р а

1. K.Strauch. Rev. Sci. Instr., 24, 283 (1953).
2. W.C.Davidon, R.B.Frahh. Rev. Sci. Instr., 27, 15 (1956).
3. А.Ф. Дунайцев, В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, В.И. Рыкалин, ЖЭТФ, 42, 632, 1962; ЖЭТФ, 42, 1680, 1962; ЖЭТФ, 42, 1421, 1962; ПТЭ, 1, 159, 1963; Люй Минь, Ю.Д. Прокошкин, ЖЭТФ, 43, 1202, 1962; V.I.Petrukhin, Yu.D.Prokoshkin. Nuovo Cimento, 26, 99 (1962); В.И. Петрухин, Ю.Д. Прокошкин, ЖЭТФ, 45, 11, 1963; A.F.Dunaitzev, Yu.D.Prokoshkin, Tang Syao-wei. Proc Intern. Conf. on High-Energy Accelerators and Instrumentation, 592, CERN, 1959, Geneva; A.F.Dunaitzev, V.S.Pantuev, Yu. D.Prokoshkin, Tang Syao-wei, M.N.Khachatryan. Proc. 1960 Annual Intern. Conf. on High-Energy Physics at Rochester, 181, 1960, Rochester.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 сентября 1963 г.