

УИЛ 64  
С 344.35

М-171

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

13 - 3379



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

В.С. Надеждин

БЫСТРАЯ СХЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ  
СОВПАДЕНИЙ

1967.

13 - 3379

В.С. Надеждин

БЫСТРАЯ СХЕМА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ  
СОВПАДЕНИЙ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

Мн 1 / 02 / 5

Во многих физических экспериментах нашли широкое применение быстрые кратные схемы совпадений (СС- $n$ ), выполненные по принципу непосредственно-го совпадения. Однако эффективность таких схем существенно зависит от временных флуктуаций входных импульсов.

Пусть, например, с  $n$  датчиков, фиксирующих прохождение частицы, на схему совпадений подаются прямоугольные импульсы длительностью  $\tau$ . Допустим далее, что на входы СС-3 поступают импульсы, которые в результате флуктуаций, не превышающих  $\tau$ , оказываются сдвинутыми друг относительно друга. Тогда вероятность того, что истинное совпадение будет зарегистрировано, зависит только от величины задержки ( $t_{\text{зад}}$ ) между опережающим и последним запаздывающим импульсами. Такая задержка возникает благодаря флуктуации импульсов в противоположном направлении одновременно в двух каналах. В результате при  $t_{\text{зад}} > \tau$  СС-3 регистрирует такие импульсы как несовпадающие во времени, хотя в принципе средний импульс в пределах разрешающего времени порознь совпадает как с опережающим импульсом, так и с запаздывающим.

При последующем увеличении кратности совпадений вероятность возникновения  $t_{\text{зад}}$  между двумя любыми импульсами продолжает возрастать, что в конечном итоге вызывает дальнейшее уменьшение эффективности регистрации.

Таким образом, если временные флуктуации в каждом канале схемы совпадений сравнимы с ее разрешающим временем ( $\tau$ ), то вероятность регистрации истинного события зависит уже не только от величины  $\tau$ , но и от числа каналов СС- $n$ . Такая зависимость эффективности регистрации приводит, как правило, к заметной деформации кривых кратных задержанных совпадений.

В тех случаях, когда указанное обстоятельство может отрицательно повлиять на результат эксперимента, следует отдать предпочтение схеме совпадений последовательного типа (СПС- $n$ ), состоящей из ряда последовательных включенных схем двойных совпадений. Предполагается, что на выходе предыдущей схемы двойных совпадений формируется импульс совпадения длитель-

ностью  $\tau$ . В идеальной схеме момент возникновения импульса совпадения определяется только передним фронтом запаздывающего импульса и не зависит от степени перекрытия совпадающих импульсов. В таком случае независимо от того, опережает один импульс другой или они точно совпадают во времени, импульс на выходе схемы двойных совпадений начинает формироваться в один и тот же момент. Во всех остальных случаях временные флуктуации входных импульсов автоматически переносятся на выход схемы. В результате при подаче на схему двойных совпадений импульсов, флуктуирующих в пределах  $\pm \tau$ , на выходе снимается импульс, флуктуирующий в интервале от нуля до  $-\tau$ .

Для получения совпадений большей кратности необходимо подать импульс совпадения на один из входов следующей схемы двойных совпадений. На другой вход подается импульс с третьего датчика. Если на первую схему поступают импульсы таким образом, что один из них является опережающим по отношению к другому (интервал между ними может меняться от нуля до  $\tau$ ), то эффективность регистрации СПС-3 не зависит от временных флуктуаций в третьем канале, поскольку один из входов второй схемы загружен импульсами с относительно малыми временными флуктуациями. С точки зрения эффективности регистрации истинных совпадений СПС-3 и СС-2 в этом случае эквивалентны.

Если на входы первой схемы поступают импульсы, один из которых в результате флуктуации оказывается запаздывающим по отношению к другому, то эффективность регистрации тройных совпадений уже зависит от временных флуктуаций. В частности, СПС-3 не регистрирует совпадение порознь перекрывающихся импульсов, когда в результате флуктуаций возникает временной интервал между передним фронтом запаздывающего импульса на входе первой схемы и задним фронтом опережающего импульса в третьем канале. Однако в принципе регистрация таких совпадений возможна. Для этого достаточно ввести постоянную задержку ( $\tau_{\text{зад}}$ ) в третий канал. В связи с тем, что схема последовательных совпадений может регистрировать даже такие совпадения, когда входной импульс в каждом предыдущем канале опережает на  $\tau$  импульс в следующем канале, введение малой задержки ( $\tau_{\text{зад}} < \tau$ ) практически не отразится на эффективности регистрации запаздывающих импульсов.

При дальнейшем увеличении кратности совпадений эффективность регистрации СПС- $n$ , вообще говоря, уменьшается. Например, когда из  $n$  каналов, по

крайней мере, в трех или четырех временные флуктуации импульсов достигают максимальной величины, такие совпадения регистрируются, по-видимому, с низкой эффективностью. Однако эффективность регистрации СПС- $n$  все же выше чем СС- $n$ , поскольку последняя не регистрирует даже такие совпадения, когда из  $n$  совпадающих импульсов флуктуируют всего лишь два.

Таким образом, при наличии в каждом канале временных флуктуаций, не превышающих разрешающего времени, влияние кратности совпадений на эффективность регистрации, а, следовательно, и на кривые задержанных совпадений в такой схеме оказывается менее существенным, чем в СС- $n$ . Кроме того, в СПС- $n$  сравнительно легко осуществляется переход с кратности совпадения  $n$  на  $n-m$ . При этом параметры СПС- $(n-m)$  остаются точно такими же, какими обладает СПС- $(n-m)$ , являясь частью схемы совпадений кратности  $n$ .

К недостаткам СПС- $n$  следует отнести тот факт, что в такой схеме число случайных  $n$ -кратных совпадений ( $N_{сл}$ ) оказывается существенно большим, чем в СС- $n$ .

$$N_{сл} (СПС - n) = 2^n / 2n N_{сл} (СС - n).$$

Однако скорость счета чисто случайных совпадений во многих экспериментах с использованием многоканальных схем оказывается значительно меньше, чем скорость счета "истинно-случайных" совпадений (фон от мишени, коллиматора и т.д.). Последние регистрируются схемой преимущественно как двойные совпадения. Далее, поскольку соотношение для случайных совпадений при  $n=2$  (двойные совпадения) обращается в тождество, следует, что количество "истинно-случайных" совпадений не зависит от способа включения импульсов на совпадение. Фон в таких экспериментах определяется значением  $\tau$  и эффективностью регистрации "истинно-случайных" совпадений. Следовательно, желательно, чтобы эти параметры оставались постоянными при изменении кратности совпадений.

В СС- $n$  влияние числа каналов на эффективность регистрации можно исключить, если увеличить длительность входных импульсов, что эквивалентно ухудшению разрешающей способности схемы. Однако такой способ не является лучшим решением проблемы высокой эффективности. Увеличение эффективности регистрации в этом случае неизбежно сопровождается возрастанием количества "истинно-случайных" совпадений. Напротив, в СПС- $n$  высокая эффективность

достигается при более коротких входных импульсах, что позволяет существенно снизить фон "истинно-случайных" совпадений при сохранении эффективности регистрации на достаточно высоком уровне.

В настоящей работе приводятся основные характеристики быстрой схемы последовательных совпадений, которая использовалась в опытах по рассеянию протонов поляризованными протонами с энергией 635 Мэв.

### 1. Формирование импульса

Предполагается, что на вход СПС-а поступает спектр амплитуд импульсов, меняющийся в широких пределах. Известно, <sup>/1,2/</sup> что два последовательно включенных одновибратора на туннельных диодах (ТД) формируют импульс амплитудой, слабо зависящей от амплитуды входного сигнала. Однако надежность работы формирователя снижается, если на его вход подаются импульсы амплитудой в несколько десятков вольт. В схеме совпадений возникают "пролезания" <sup>/3/</sup>. Обычно для устранения "пролезаний" проводится предварительное ограничение входных импульсов по амплитуде с помощью быстродействующих диодов. В данной схеме для указанных целей используется ячейка из двух диодов с накоплением заряда (рис.1), с помощью которой осуществляется ограничение входных импульсов как по амплитуде, так и по длительности <sup>\*)</sup>.

Через диод  $D_1$  протекает постоянный ток ( $\approx 3$  ма), благодаря которому в базе диода накапливается достаточно большой заряд. Поскольку в течение фазы рассасывания накопленного заряда обратное сопротивление диода  $D_1$  остается малым, то при подаче на вход формирующего каскада (ФК) запирающего сигнала с относительно пологим фронтом в момент рассасывания заряда в первый ТД поступает ток  $I_{вх} \approx U_{вх} / \rho$ , где  $\rho$  - волновое сопротивление кабеля.

По окончании процесса рассасывания обратное сопротивление диода  $D_1$  быстро восстанавливается до величины, значительно превышающей  $\rho$ , после чего  $I_{вх}$  стремится к нулю.

В тех случаях, когда входные сигналы велики как по амплитуде, так и по длительности, для предотвращения повторного срабатывания ФК ставится диод  $D_2$ , который в исходном состоянии заперт. Когда заканчивается рассасывание

---

<sup>\*)</sup> В некоторых схемах совпадений, например <sup>/4/</sup>, диод с накоплением заряда является основным элементом, формирующим короткий импульс. Однако такой формирователь удовлетворительно работает при малых величинах накопленного заряда. Кроме того, время нарастания входного импульса в этом случае должно быть также малым.

заряда диода  $D_1$ , входной импульс открывает диод  $D_2$ , малое прямое сопротивление которого шунтирует вход формирователя.

Использование ячейки из двух диодов с накоплением заряда в качестве ограничителя больших сигналов позволило работать с входными сигналами практически неограниченной амплитуды и длительности.

## II . Результаты испытаний схемы последовательных совпадений

При испытании схемы совпадений с параметрами, указанными на рис.1, получены следующие результаты:

1. Схема надежно срабатывает при подаче на вход формирователя импульса амплитудой 0,4 в и длительностью 10 нсек.

2. В схеме отсутствуют "пролезания" при подаче на вход импульса длительностью 10-500 нсек и амплитудой до 50 в. Испытание на возможность появления "пролезаний" при подаче импульсов, превышающих указанные пределы, не проводилось.

3. Мертвое время в каналах совпадений проверялось с помощью пачки импульсов и составляет 25 - 30 нсек.

4. Длительность импульсов, сформированных одновибраторами на ТД, у основания не более 6 нсек.

5. При оптимальных напряжениях питания на ФЭУ-36 получены кривые задержанных совпадений кратности 2,3,4, и 5 при регистрации протонов, рассеянных мишенью из  $CH_2$  на угол  $21^\circ$  лаб. сист., сопряженным телескопом из 5 счетчиков (рис.2а). Кривые представлены на рис.2б. Независимо от кратности спады кривых задержанных совпадений и разрешающее время схемы равны примерно 1,5 нсек и 2,5 нсек, соответственно. Наличие плато ( в пределах

ошибок) у кривых задержанных совпадений дает основание полагать, что при изменении кратности эффективность регистрации схемы остается примерно постоянной.

Поскольку эксперимент проводится в таких фоновых условиях, что протоны, рассеянные мишенью  $\text{CH}_2$ , слабо увеличивают общую загрузку счетчиков, то относительно высокая скорость счета совпадений СС-2 возникает за счет случайных совпадений фоновых частиц, по-видимому, в момент отсутствия импульса интенсивности. При увеличении кратности схемы (СС-3) вероятность случайного совпадения трех частиц сильно падает и скорость счета совпадений СС-3 заметно снижается. Однако количество истинных совпадений в пределах ошибок не меняется.

Что касается случайных совпадений, регистрируемых СС-3 в момент импульса интенсивности, нетрудно показать, что таких совпадений гораздо меньше, чем совпадений "истинно-случайных" (протон, прошедший  $\text{C}_3$  и  $\text{C}_2$ , совпадает со случайной частицей, например  $\gamma$ -квант, в  $\text{C}_1$ ). Поскольку в этом случае импульсы от  $\text{C}_3$  и  $\text{C}_2$  коррелированы во времени, то "истинно-случайные" совпадения регистрируются СС-3 как двойные совпадения с вероятностью, пропорциональной  $\tau$ . В то же время случайные совпадения регистрируются с вероятностью, пропорциональной  $\tau^2$ . Кроме того, в момент импульса интенсивности загрузка счетчиков  $\text{C}_3$  и  $\text{C}_2$  рассеянными частицами от мишени  $\text{CH}_2$  на порядок выше загрузки фоновых случайных частиц.

На основании изложенного можно сделать вывод, что СС-3 считает в основном истинные и "истинно-случайные" совпадения. Однако из полученной кривой задержанных совпадений СС-3 невозможно извлечь информацию о количестве "истинно-случайных" совпадений. При введении в  $\text{C}_3$  временной задержки, превышающей  $\tau$ , вследствие указанной корреляции СС-3 в принципе не может регистрировать такие "истинно-случайные" совпадения.

Для определения количества "истинно-случайных" совпадений следует либо снять кривую задержанных совпадений СС-3, вводя задержку в  $\text{C}_1$ , либо увеличить кратность совпадений и затем сравнить скорость счета СС-3 и СС-4. Следует заметить, что в последнем случае СС-4 и СС-3 регистрируют одинаковое количество случайных совпадений истинных частиц, идущих от различных актов рассеяния и разделенных интервалом времени, не превышающим  $\tau$ . Площадь кристалла  $\text{C}_4$  выбрана такой, чтобы эффективность регистрации истинных совпадений оставалась постоянной.



Из сравнения кривых задержанных совпадений СС-4 и СС-3 видно, что при увеличении кратности совпадений наблюдается некоторое уменьшение скорости счета. Причина заключается в том, что в СС-4 отсутствуют "истинно-случайные" совпадения, поскольку регистрация таких событий зависит от случайных совпадений фоновых частиц в  $C_1$  и  $C_4$ .

При дальнейшем увеличении кратности совпадений (СС-5) наблюдается сравнительно небольшое изменение скорости счета, связанное с уменьшением телесного угла. Скорости счета совпадений СС-5 и СС-4 могут быть одинаковыми в том случае, если площадь кристалла  $C_5$  увеличить на 25 - 30% (с учетом поправки на размер мишени  $CH_2$ ).

6. Стабильность схемы совпадений проверялась в специальном опыте. С этой целью импульсы от двух сцинтилляционных счетчиков, облучаемых источником  $Co^{60}$ , помещенным между счетчиками, подавались на двойную схему совпадений, которая отбирала случаи  $\gamma\gamma$ -совпадений.

Зависимость счета от времени приводится на рис.3. Эксперимент проводился в течение 13 часов. Поскольку скорость счета  $\gamma\gamma$ -совпадений в пределах статистики остается постоянной (отсутствует систематическое изменение счета за пределы двух стандартных ошибок,  $\sigma = 0,01 N_1$ ), можно утверждать, что стабильность установки в целом не хуже 1%.

Для иллюстрации на том же рисунке приведена аналогичная зависимость скорости счета  $\gamma\gamma$ -совпадений со стандартной ошибкой  $\sigma = 0,032 N_2$ . Видно, что в течение тех же 13 часов максимальное отклонение скорости счета относительно среднего значения ( $N_2$ ) не превышает одной стандартной ошибки. Это служит указанием на отсутствие в эксперименте существенных систематических ошибок, связанных с дрейфом тех или иных элементов в установке.

На рис.4 представлена кривая задержанных совпадений, полученная при регистрации  $\gamma\gamma$ -совпадений.

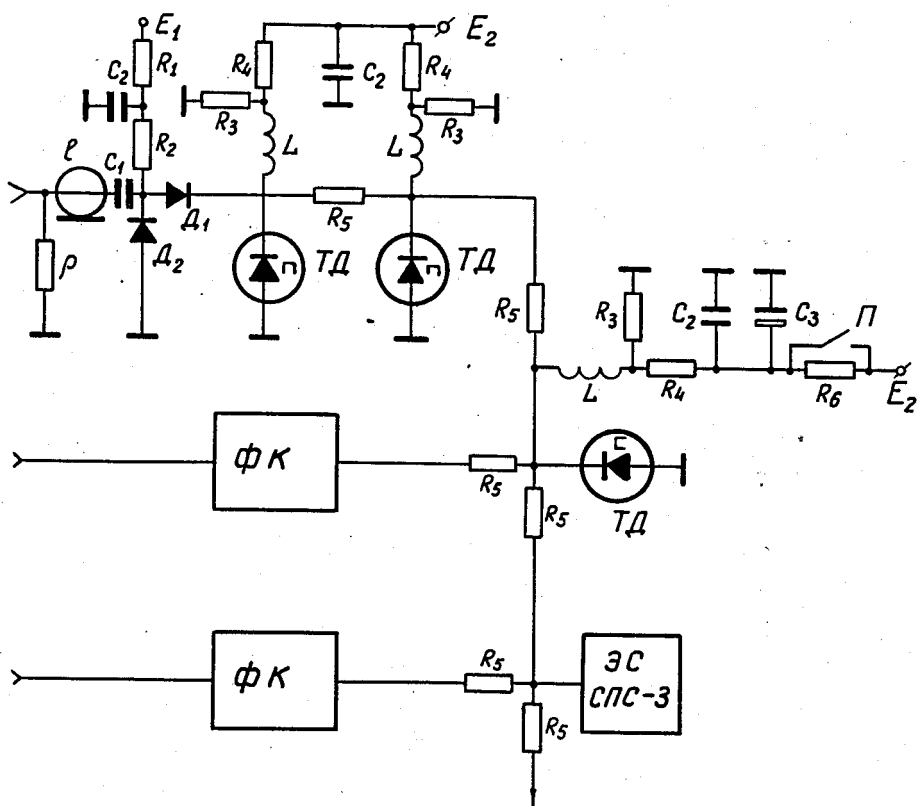
Автор благодарит Р.Я.Зулькарнеева и В.И.Сатарова за большую помощь, оказанную при выполнении данной работы, и Ю.М.Казаринова и Ю.А.Акимова за полезное обсуждение.

## Л и т е р а т у р а

1. A. Whetstone, S. Kounosu. Rev.Sci.Instr., 33, 423 (1962).
2. И.А.Голутвин, Ю.В.Заневский. ПТЭ, №1, 96 (1965).
3. Ю.К.Акимов, А.В.Купцов, Препринт ОИЯИ 2434, Дубна (1965).
4. J.Grunberg and L.Tepper. IEEE Trans., NS-13, No.1, 389-393.

Рукопись поступила в издательский отдел

13 июня 1967 г.



$D_1, D_2$  - ДЗ11А, ТД - ЗИ301Г

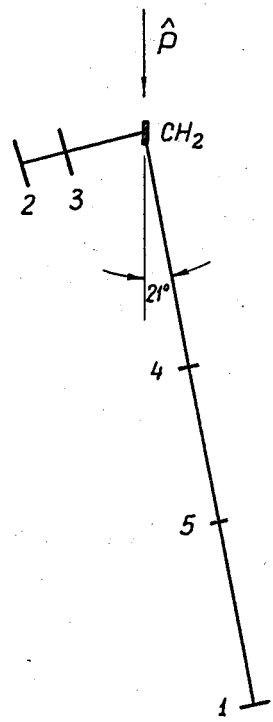
$E_1 = +126$   $E_2 = -126$   $R_1 = 300$   $R_2 = 130$

$R_3 = 10 \div 12$   $R_4 = 620$   $R_5 = 240$   $R_6 = 240$

$C_1 = 10$  нф КСО  $C_2 = 2,4$  нф КСО  $C_3 = 10$  мкф

$\rho$  - кабель РК-150, длиной 75м  $L = 0,2$  мкГн

Рис. 1.



1,2,3,4,5 - СЧ.СЧ  
 СС-2 → 1+2  
 СС-3 → 1+2+3  
 СС-4 → 1+2+3+4  
 СС-5 → 1+2+3+4+5

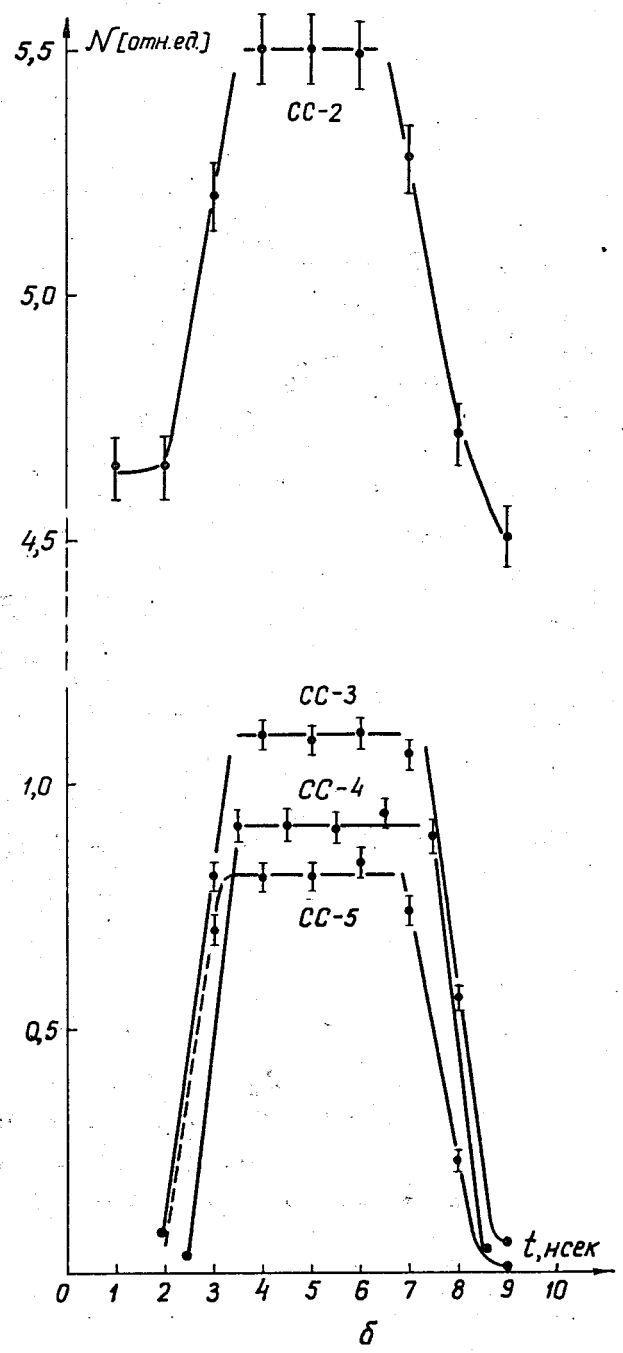


Рис. 2.  
12

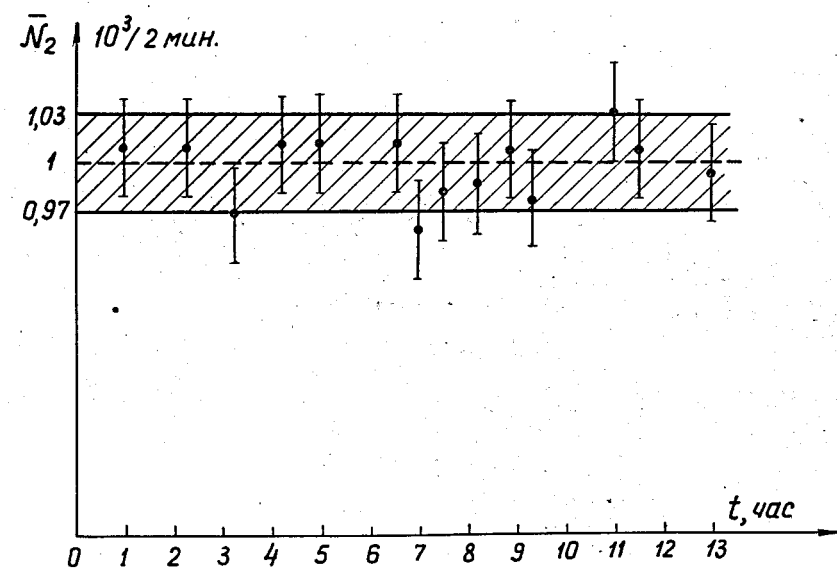
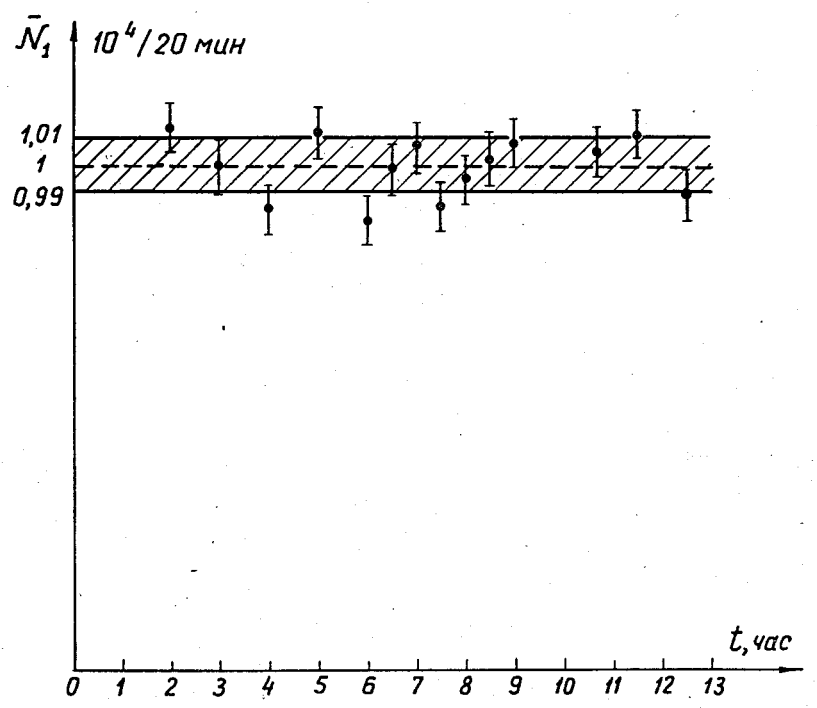


Рис. 3.  
13

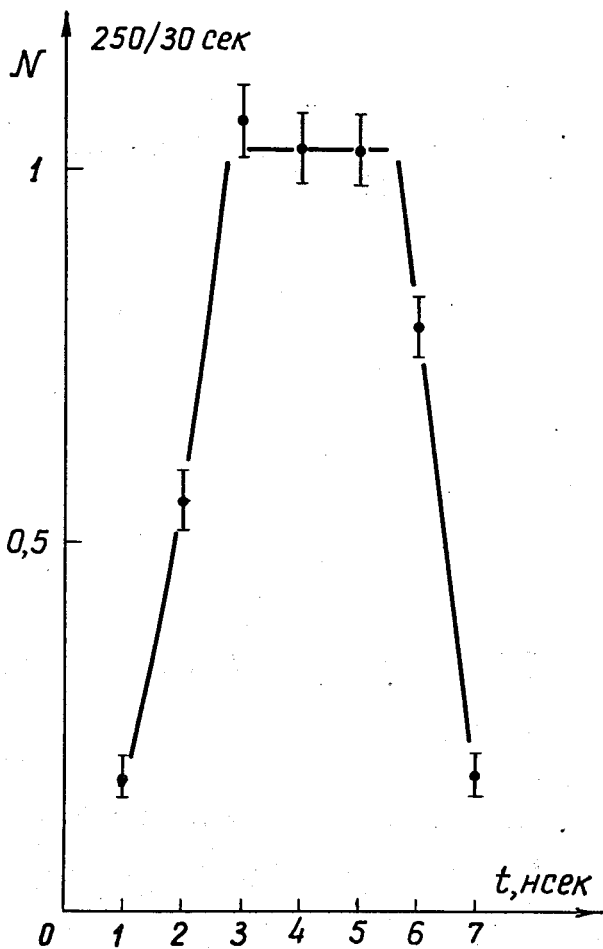


Рис. 4.