

# **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1** **ДЕТЕКТОРЫ ЯДЕРНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ.** **ГАЗОРАЗРЯДНЫЙ СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА.**

## **Глава 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

### **1. Цели и задачи работы.**

Ознакомиться с физическими основами действия счетчика Гейгера-Мюллера, его характеристиками и возможностями как детектора ионизирующих излучений, экспериментально измерить основные параметры конкретного счетчика, используемого в данной лабораторной работе.

Счетчики Гейгер-Мюллера (далее, для сокращения текста, просто счетчики Гейгера), благодаря относительно низкой стоимости, простоте эксплуатации и сравнительно большой величине выходного сигнала, являются наиболее распространенными детекторами гамма-излучения, а также в ряде случаев бета- и нейтронного излучения, находя широкое применение в бытовых дозиметрах, в промышленных установках радиоизотопной техники, в научных исследованиях, не требующих высокой эффективности регистрации излучений и т.п.

Перед выполнением работы рекомендуется еще раз прочитать «Введение в физпрактикум», уделив дополнительное внимание пунктам: 1, 2, 3.1.1, 3.2, 3.4, 4.2, 4.3, 4.4, 5.1, 5.3, 5.5.

### **2. Вступление.**

*Счетчик Гейгера-Мюллера*, изобретенный Гейгером и усовершенствованный Мюллером, а затем Тростом, как и любой *газовый ионизационный детектор* (см. ниже), представляет собой газонаполненный конденсатор, к обкладкам которого приложено определенное постоянное напряжение. Регистрируемые заряженные частицы, проникающие внутрь объема такого детектора через специальные тонкие окна из легких, начала таблицы Менделеева «малоэлектронных» материалов (бериллий, алюминий, полимерные пленки и т.п.), или вторичные заряженные частицы, возникающие внутри детектора при взаимодействии с ним регистрируемых частиц (квантов), вызывают ионизацию атомов и молекул газа (см. п. 3.1.1 и 3.4 «Введения в физпрактикум»). Электроны и положительные ионы ионизации под действием электрического поля устремляются к соответствующим электродам детектора, создавая электрический сигнал – импульс тока, на каждую регистрируемую частицу (квант), или непрерывный ионизационный ток на сравнительно большой поток частиц (квантов), которые обрабатываются измерительной аппаратурой. Характеристики электрического сигнала (амплитуда, длительность, частота следования импульсов или величина ионизационного тока) являются источником информации о регистрируемом излучении. Величина ионизационного эффекта (т.е. число пар электрон-ион) и, соответственно, амплитуда импульса ионизационного тока, создаваемого в газе детектора каждой частицей (квантом) излучения, флуктуирует из-за случайного характера процессов ионизации, но в среднем пропорциональна энергии самой регистрируемой частицы (кванта). Во всех различных типах газовых ионизационных детекторов для увеличения выходного сигнала существенно обеспечить наиболее полное собирание образованных зарядов на электродах детектора, чему способствует наполнение детекторов соответствующими смесями газов на основе инертных газов (обычно аргон), обладающих, в отличие от, например, кислорода, минимальной электроотрицательностью, т.е. способностью связывать свободные электроны с образованием отрицательных ионов. Время собирания зарядов на электродах детектора, или длительность импульса ионизационного тока, определяется скоростью направленного движения зарядов в электрическом поле (скоростью дрейфа зарядов). Скорость дрейфа существенно меньше скорости теплового движения атомов и молекул в газе. Для электронов эта скорость на 2-3 порядка выше, чем для ионов (существенное различие в массе), поэтому во многих типах детекторов для увеличения быстродействия используют только собирание электронов (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум» о временном разрешении детектора).

Процессы газового разряда весьма сложные и их протекание зависит от многих факторов: от величины напряжения на детекторе, от геометрии газового конденсатора (размеры и форма

электродов, расстояние между электродами), от распределения напряженности электрического поля в газовом промежутке (как правило, неоднородного поля, например, для цилиндрического конденсатора [1]), от состава и давления газа или смеси газов и т.п.

### 3. Типы и режимы работы газовых ионизационных детекторов.

Существует четыре основных типа газовых ионизационных детекторов, отличающихся характером выходного сигнала и определяемых тремя основными режимами работы газового конденсатора.

1). **Режим ионизационной камеры.** Напряжение на электродах детектора сравнительно невелико, но достаточно для сбора на них практически всех зарядов первичной ионизации.

-**Токовая ионизационная камера** – выходной сигнал аналоговый (электрический ток). Величина тока пропорциональна плотности потока регистрируемого ионизирующего излучения в месте расположения камеры. Такие камеры обычно используют для сигнализации об опасных уровнях излучений.

-**Импульсная ионизационная камера** – выходной сигнал дискретный пропорциональный, т.е. каждой регистрируемой частице соответствует электрический импульс, амплитуда которого пропорциональна энергии частицы.

2). **Режим пропорционального счетчика.** **Пропорциональный счетчик** – выходной сигнал дискретный пропорциональный, но существенно больший по амплитуде, чем в импульсной ионизационной камере за счет **газового усиления** (см. ниже).

Импульсные ионизационные камеры и пропорциональные счетчики – спектрометрические детекторы, которые обычно используются в исследовательских целях, а иногда в некоторых промышленных применениях экспериментальной ядерной физики.

3). **Режим счетчика Гейгера.** **Счетчик Гейгера** – выходной сигнал дискретный (импульс электрического тока) непропорциональный, т.е. амплитуда импульса регистрации не зависит от вида и энергии регистрируемых частиц или квантов). Счетчик Гейгера – наиболее дешевый и распространенный детектор ядерных излучений (см. п. 4.4 «Введения в физпрактикум»).

### 4. Конструкция и схема включения газовых ионизационных счетчиков.

Конструктивно газовые ионизационные счетчики (пропорциональный счетчик и счетчик Гейгера) обычно выполняются в виде цилиндрического конденсатора. Внешний электрод – катод, представляющий собой сравнительно тонкостенную металлическую трубку, которая в большинстве случаев является и корпусом детектора, внутренний электрод – анод, в виде тонкой металлической проволоки, натянутой по оси цилиндра. Выводы от анода и катода обычно располагаются по торцам детектора. Под действием приложенного к счетчику постоянного напряжения на аноде собираются электроны ионизации, а на катоде положительные ионы. В схеме включения детектора корпус счетчика как правило заземляют.

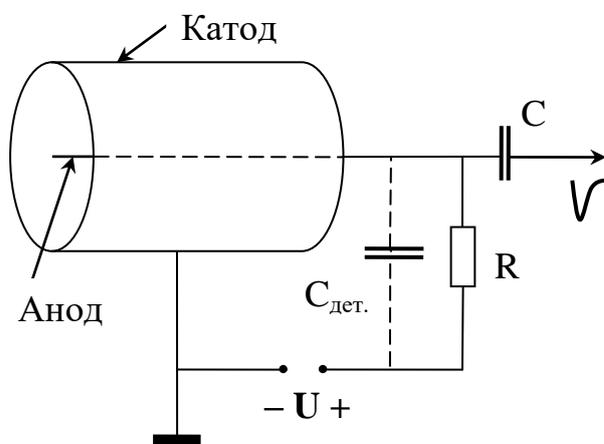


Схема включения любого импульсного ионизационного детектора обычно имеет вид, представленный на рис. Выходной сигнал представляет собой падение напряжения на сопротивлении  $R$ , создаваемое импульсом ионизационного тока. Конденсатор  $C$  служит для отделения постоянного высокого напряжения  $U$  от дальнейших электрических цепей измерительной аппаратуры. В данной лабораторной работе импульс детектора после конденсатора поступает на предварительный усилитель сигнала и далее на счетчик импульсов (пересчетный прибор). К выходу

детектора, параллельно усилителю или пересчетному прибору может быть подключен осциллограф для наблюдения этого импульса и измерения его параметров.  $C_{дет.}$  – эффективная собственная емкость детектора.  $C_{дет.}$  для обычно применяемых счетчиков в основном зависит от их размеров и составляет величину порядка нескольких десятков пикофарад. Очевидно, что

полярность импульса счетчика – отрицательная, соответственно понижению потенциала анода, пришедшими на него электронами. Временные характеристики импульса определяются скоростью дрейфа зарядов ионизации (см. выше). Передний фронт импульса, соответственно достаточно быстрому сбору на аноде электронов, весьма крутой, короткий по времени, и обычно плохо различим на экране осциллографа из-за слабого свечения по этой причине люминесцентного покрытия экрана, а задний фронт – пологий (длинный) соответственно малой подвижности ионов. Подбором сопротивления  $R$  и емкости  $C$  при данном  $C_{дет.}$  добиваются длительности импульса порядка "мертвого" времени  $\tau$  счетчика (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум») для улучшения его временного разрешения.

### **5. Зависимость процессов в импульсных газовых ионизационных детекторах от величины приложенного к детектору напряжения $U$ .**

При небольших напряжениях  $U$  значительная часть образовавшихся электронов и ионов первоначальной ионизации рекомбинирует и импульс тока весьма мал по амплитуде. Детектор фактически не регистрирует излучение. С ростом  $U$  рекомбинация уменьшается за счет увеличения скорости дрейфа зарядов, и амплитуда импульса тока (выходной сигнал детектора) возрастает. Начиная с некоторого напряжения  $U$ , достигается насыщение, при котором практически все заряды начальной ионизации собираются на электродах детектора. Область напряжений, соответствующая указанному насыщению, определяет работу газового ионизационного детектора в режиме ионизационной камеры (как импульсной, так и токовой). Отметим, что в этом режиме указанная выше форма электродов детектора не является обязательной [2].

Дальнейшее увеличение напряжения  $U$  приводит к возрастанию амплитуды импульса ионизационного тока над величиной насыщения за счет процесса, называемого процессом *газового усиления* (теория Таунсенда прохождения тока в газах). При этом электроны первичной ионизации ускоряются электрическим полем детектора-конденсатора на длине своего свободного пробега (зависящей от давления газа [3]) до энергий, достаточных для ионизации нейтральных атомов (молекул) газа при неупругих столкновениях с ними. Для увеличения длины свободного пробега давление газа в ионизационных газовых детекторах устанавливают несколько ниже атмосферного [4]. Вторичные электроны также участвуют в процессе ударной ионизации. Таким образом, первичная ионизация приводит к лавине электронов, развивающейся по направлению к аноду детектора. Мощность этой лавины, т.е. результирующая ионизация, должна существенно зависеть от места первоначальной ионизации; чем ближе первоначальная ионизация к аноду детектора, тем меньше и результирующая ионизация. Эта зависимость устраняется применением анода в виде тонкой металлической нити (иногда стерженька с острием); при этом высокая напряженность электрического поля, необходимая для ударной ионизации, возникает только вблизи нити в объеме, составляющем малую долю общего объема газа, и зависимость результирующей ионизации от места начальной ионизации практически исчезает. Таким образом, в определенном диапазоне напряжений  $U$  на детекторе результирующая ионизация (и, соответственно, амплитуда импульса детектора) остается пропорциональной начальной, т.е. величине энергии регистрируемой частицы (кванта). Область напряжений, отвечающая условиям указанной пропорциональности, определяет работу газового ионизационного детектора в режиме пропорционального счетчика, являющегося, таким образом, спектрометрическим детектором.

С дальнейшим повышением напряжения  $U$  на детекторе, когда газовое усиление становится особенно большим, начинает теряться прямая пропорциональность начальной ионизации и величины выходного сигнала, за счет образования значительного пространственного заряда из малоподвижных положительных ионов вблизи анода, который уменьшает эффективную напряженность поля уже в процессе развития лавины (фактически анодная нить как бы становится «толще»). Кроме того, разряд в газе детектора при таких напряжениях переходит в непрерывный *самостоятельный газовый разряд*, не требующий дальнейшей ионизации от регистрируемого излучения. Самостоятельный разряд возникает за счет образования повторных лавинообразных разрядов, вызываемых следующими двумя процессами появления дополнительных электронов в газе вблизи катода детектора.

- 1). Вторичная электронная эмиссия из катода при бомбардировке его достаточно ускоренными электрическим полем положительными ионами.
- 2). Фотоэффект из катода, а также фотоионизация некоторых компонентов газовой смеси за счет фотонов, испускаемых атомами и молекулами газа, возбужденными при столкновениях с электронами предыдущих лавин.

Такой самоподдерживающийся за счет вторичных процессов разряд называется самостоятельным газовым разрядом коронного типа (вблизи анода), а потенциал  $U$  на детекторе, при котором возникает такой разряд, называется потенциалом зажигания  $U_{\text{зж}}$  самостоятельного газового разряда. Ток самостоятельного разряда поддерживается на определенном уровне, характерном для данного детектора, стабилизирующим действием положительного пространственного заряда малоподвижных ионов вокруг анода, уменьшающим напряженность поля и газовое усиление [5].

При дальнейшем росте напряжения на газовом промежутке происходит его пробой даже без начальной ионизации с зажиганием непрерывного тлеющего разряда.

Область напряжения, соответствующая области самостоятельного газового разряда, определяет работу газового ионизационного детектора в режиме счетчика Гейгера. В этом случае амплитуда импульса ионизационного тока сравнительно велика и не зависит от начальной ионизации и, следовательно, от вида и энергии регистрируемого излучения [6]. Достаточно образования хотя бы одной пары электрон-ион в газе, чтобы развился самостоятельный разряд в счетчике. Однако разряд остается вынужденным и без начальной ионизации не возникает. Таким образом, *сигнал счетчика Гейгера свидетельствует только о факте регистрации любой частицы (кванта), а количество таких сигналов в единицу времени определяется интенсивностью облучения детектора.*

Самостоятельный разряд счетчика Гейгера может быть использован для регистрации частиц (квантов) ионизирующих излучений только при одном условии: разряд, вызванный в приборе очередной частицей, как можно скорее должен быть погашен. Только при этом счетчик будет способен через достаточно малое время, называемое *временем разрешения* или *«мертвым» временем*, (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум») ответить на появление в нем следующей частицы новой вспышкой разряда, т.е. новым импульсом. Гашение самостоятельного разряда в счетчиках Гейгера может быть осуществлено несколькими путями.

- 1). Применение достаточно большого, порядка нескольких десятков мегаом, сопротивления  $R$  (см. схему включения детектора), значительно превышающего внутреннее сопротивление газового промежутка в процессе разряда. При этом с развитием самостоятельного разряда напряжение на газовом промежутке резко падает, падает газовое усиление, и разряд гаснет [7]. Недостатком этого простого способа гашения является малое быстродействие счетчика или большое время разрешения, определяемое временем  $\tau \approx R \cdot C_{\text{дет.}}$ , т.е. временем зарядки собственной емкости детектора до исходного рабочего напряжения питания счетчика [8].

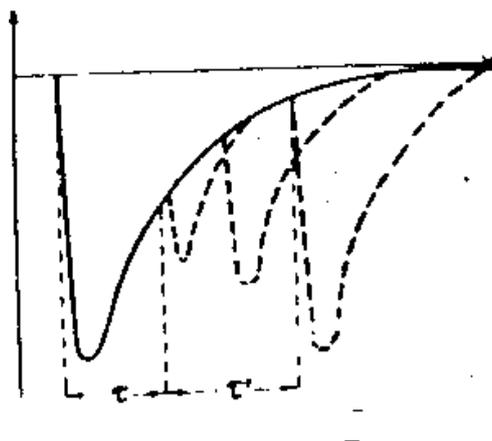
- 2) Применение специальных электронных схем, снижающих на некоторое малое время напряжение питания счетчика сразу же после вспышки самостоятельного разряда. Этим способом (сравнительно сложным и дорогостоящим) достигается минимальное время разрешения, но, очевидно, не меньшее, чем время рассасывания положительного объемного заряда вокруг анода счетчика (характерное время порядка  $10^{-4}$  с).

- 3) Применение гасящих примесей (пары спирта или галогены) к основному наполняющему газу, резко снижающих вероятность вторичных процессов в счетчике. Потенциал ионизации атомов гасящих примесей должен быть ниже потенциала возбуждения атомов основного газа. Кроме того, молекулы гасящей добавки должны иметь низкий потенциал диссоциации. В этом случае, в области ударной ионизации фотоэффект будет происходить на атомах добавки, а не на катоде, нейтрализация ионов основного газа также будет происходить при столкновениях с нейтральными молекулами добавки, а не на катоде, и к катоду будут подходить в основном ионизированные молекулы добавки. Нейтрализация таких молекул на катоде не сопровождается освобождением дополнительных электронов, так как избыточная энергия ионизированных молекул примеси, при их нейтрализации на катоде, тратится на их диссоциацию. Счетчики

Гейгера, содержащие гасящие добавки, называются самогасящимися [9]. Счетчики со спиртовыми примесями имеют ограниченный срок службы, так как диссоциированные части молекул спирта вновь не воссоединяются. Галогенные счетчики таким недостатком не обладают. В настоящее время чаще всего применяются галогенные счетчики Гейгера с практически неограниченным сроком службы.

### 6. Сигнал счетчика Гейгера и временное разрешение счетчика.

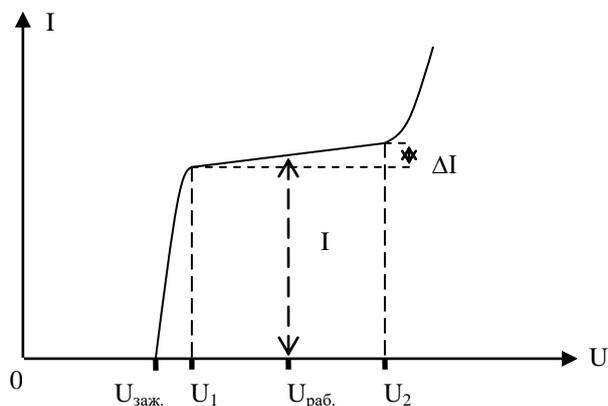
Рассмотрим процесс формирования выходного сигнала счетчика во времени (см. рис.), наблюдаемый на экране осциллографа. Осциллограф показывает зависимость напряжения, подаваемого на его вход (обычно на вертикально отклоняющие пластины), от времени, задаваемого равномерной горизонтальной протяжкой луча генератором развертки осциллографа.  $V$  – потенциал анода счетчика или падение напряжения на сопротивлении нагрузки  $R$ , проходящее на осциллограф (и на предварительный усилитель сигнала счетчика) через конденсатор  $C$ .



Сопротивление  $R$  для самогасящихся счетчиков выбирается таким, чтобы  $R \cdot C_{\text{дет.}} \leq 10^{-4}$  с – характерное время движения положительных ионов от анода к катоду. Меньшие  $R$  приведут к излишнему падению амплитуды сигнала (дифференцирующая цепочка) и уменьшению его длительности, но без существенного улучшения временного разрешения. Пунктиром схематично показана форма импульсов в зависимости от момента их появления после предыдущего импульса. Частицы (кванты), попадающие в счетчик во время развития первого импульса, вообще не дают отдельного сигнала и фактически не регистрируются («мертвое» время  $\tau$ ), а попадающие в то время, когда

положительные ионы еще не дошли до катода (время восстановления  $\tau'$ ), имеют соответственно меньшую амплитуду [10], но могут быть зарегистрированы, если их амплитуда, по переднему фронту импульса, превысит порог срабатывания пересчетного прибора.

### 7. Счетная характеристика счетчика Гейгера.



Важной характеристикой счетчика Гейгера является его **счетная характеристика** – зависимость скорости счета частиц (квантов) от величины напряжения на детекторе при неизменной интенсивности облучения, типичный вид которой представлен на рис. Соответствующие обозначения на рисунке:  $I$  – скорость счета регистрируемых частиц (квантов) или число отсчетов импульсов в единицу времени;  $U$  – напряжение на детекторе;  $U_{\text{зак.}}$  – **напряжение зажигания самостоятельного разряда**, напряжение начала счета импульсов детектора

пересчетным прибором;  $U_1 - U_2$  – **область плато счетной характеристики**;  $U_{\text{раб.}}$  – **рабочее напряжение питания счетчика** (выбирается примерно в середине плато). Отсутствие регистрации для  $U < U_{\text{зак.}}$  объясняется тем, что в этой области счетчик работает примерно как импульсная ионизационная камера или пропорциональный счетчик, амплитуда выходного сигнала которых мала – меньше порога срабатывания пересчетки, настроенной на большие "гейгеровские" импульсы (наблюдение этих импульсов на осциллографе с достаточно большой чувствительностью уже возможно). В области от  $U_{\text{зак.}}$  до  $U_1$  (весьма короткой, несколько вольт) вследствие различных флуктуаций самостоятельный разряд возникает не всегда, и не все импульсы регистрируются. В области плато скорость счета должна быть сравнительно постоянной, пропорциональной интенсивности облучения с учетом эффективности детектора, однако существует заметный наклон плато, обусловленный отсчетом импульсов, возникающих на

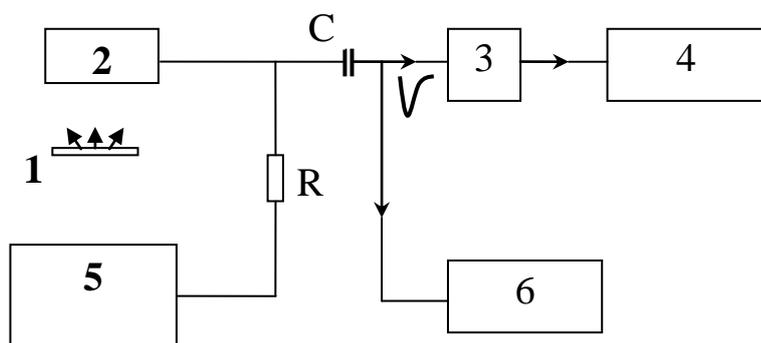
отрезке  $\tau'$  за счет неполного гашения. Вероятность отсчета этих послеразрядов растет с увеличением поля в детекторе. При больших напряжениях на счетчике, в конце плато, наблюдается *возрастающая ветвь счетной характеристики*, обусловленная ростом вероятности саморазрядов (при этом внешнее облучение не влияет), с дальнейшим переходом в область непрерывного тлеющего разряда. Причиной саморазрядов является, в основном, автоэлектронная эмиссия с внутренней поверхности катода в газ при большой напряженности электрического поля в счетчике. Вероятность такой эмиссии возрастает при длительной работе счетчика при высоких напряжениях из-за появления микроострий (микропроплавка металла катода) на внутренней поверхности катода при его бомбардировке быстрыми ионами. Для «хороших» счетчиков важна сравнительно большая протяженность его плато (в среднем порядка 100 В) при сравнительно небольшом наклоне плато (порядка нескольких процентов). Указанные характеристики «хороших» счетчиков были введены еще Резерфордом и Гейгером, в экспериментах которых счетчики питали напряжением комплекта последовательно соединенных батарей с соответствующей нестабильностью напряжения питания из-за разрядки батарей, качества контактов и т.п. Качество счетчика оценивают *наклоном плато*, вычисляемым по формуле:  $\delta = ((\Delta I/I) \cdot 100 / (U_2 - U_1)) \cdot 100\%$  ( $U_1$  и  $U_2$  в вольтах). Выбор напряжения питания счетчика в середине плато позволяет избежать заметного изменения измеряемой скорости счета от технических причин, обусловленных нестабильностью питания счетчика. При питании счетчиков от современных стабилизированных источников эти характеристики не столь существенны.

### 8. Эффективность счетчика Гейгера.

*Эффективность счетчика Гейгера* (см. п. 5.1 «Введения в физпрактикум») определяется отношением регистрируемой скорости счета к интенсивности облучения, т.е. к числу частиц (квантов), падающих на счетчик в единицу времени. Она зависит от типа и энергии регистрируемого излучения, от чувствительного объема счетчика, от конструктивных особенностей детектора, толщины и материала катода, и т.п. Эффективность счетчиков Гейгера при регистрации гамма-квантов составляет единицы процентов и значительно меньше эффективности сцинтилляционного детектора соответствующего объема (можно провести хотя бы качественное сравнение этих величин при выполнении соответствующих лабораторных работ).

## Глава 2. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Целью лабораторной работы является изучение характеристик и возможностей применяемого в работе счетчика Гейгера для гамма-излучения. Для этого используется установка, блок-схема которой приведена на рис.



1 – источник гамма-излучения, выдается преподавателем после ознакомления с инструкцией к работе, установкой и проверкой ее работоспособности;  
2 – счетчик Гейгера типа **СТС-5**, (**СТС-6**, **СИ-22Г**, **СБМ-20** или другие типы);  
3 – предварительный усилитель сигнала счетчика **БГС-3** (блок газовых счетчиков) с устройством для крепления счетчика, счетчик Гейгера вставлен слева непосредственно в блок **БГС-3**. В

качестве предварительного усилителя отрицательного сигнала счетчика может быть использован любой ламповый или транзисторный (или на микросхеме) усилитель (достаточно небольшого коэффициента усиления) с высокоомным входом и низкоомным выходом [11] (катодные или эмиттерные повторители). В качестве источника питания предварительного усилителя может использоваться соответствующее напряжение блока питания применяемого пересчетного прибора (обычно в пересчетном приборе имеется отдельный выход такого питания).

4 – пересчетный прибор **ПС02-08**, (может быть использован любой другой счетчик импульсов);

5 – источник питания счетчика, в качестве которого используется стабилизированный регулируемый источник питания **УИП-1** (универсальный источник питания). В качестве источника питания счетчика может использоваться любой регулируемый стабилизированный источник постоянного напряжения (диапазон регулирования от нуля или от нескольких десятков вольт до примерно 600 вольт) небольшой мощности (ток выхода до нескольких миллиампер).

6 – осциллограф **С1-5** (может быть использован любой импульсный осциллограф).

7 – секундомер, часы с секундной стрелкой и т.п. (желательно собственный). Секундомер или часы необходимы, если пересчетный прибор не имеет собственного встроенного генератора для автоматического задания времени экспозиции счета импульсов.

Действие установки заключается в следующем. Гамма-квант источника, попадая на счетчик, вызывает в нем вспышку самостоятельного разряда. Ток разряда на сопротивлении **R** создает импульс напряжения (выходной сигнал детектора), который незначительно усиливается по напряжению, а, главным образом, по мощности предварительным усилителем и далее подается на вход пересчетного прибора, где отсчитывается. Источник питания позволяет подавать регулируемое напряжение на счетчик. Осциллограф используется для непосредственного наблюдения выходного сигнала детектора.

Более подробно работа различных блоков (приборов) установки будет описана в разделе «Порядок выполнения работы».

### Глава 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Идентифицировать все приборы и блоки установки и разобраться с их соединением между собой согласно блок-схеме. Действуя в соответствии с указаниями пунктов «Порядка выполнения работы», реализовать выполнение следующих основных экспериментальных заданий.

1. Получить счетную характеристику счетчика Гейгера. Представить таблицу измерений и график. Определить напряжение зажигания и рабочее напряжение счетчика. Вычислить наклон плато счетной характеристики.
2. Определить естественный фон данного счетчика (интенсивность счета фона) с заданной статистической точностью. В дальнейшем желательно сравнивать эту величину с аналогичными величинами других детекторов физпрактикума с обдумыванием причин примерных совпадений или существенных различий.
3. Измерить по осциллографу параметры выходного сигнала счетчика (амплитуда и длительность) при рабочем напряжении на нем. Зарисовать форму импульса с указанием его параметров. Наблюдая импульсы меньшей амплитуды, возникающие на отрезке времени восстановления, оценить приближенно «мертвое» время (см. рис. сигнала счетчика) и предельную загрузку детектора. Убедиться в том, что амплитуда сигнала не зависит от вида и энергии регистрируемого излучения (фоновое облучение, различные источники излучения).
4. Получить зависимость амплитуды выходного сигнала от напряжения питания счетчика. Представить таблицу измерений и график. Предложить объяснение полученного результата – примерно линейная зависимость.
5. Измерить с заданной погрешностью время разрешения счетчика методом двух источников. Представить таблицу измерений и результаты вычисления. Сопоставить полученный результат с оценкой «мертвого» времени по осциллографу.

Очевидно, что п. 2, 3 и 5 экспериментальной части должны выполняться при рабочем напряжении на счетчике, определяемом по результатам выполнения п. 1.

**Метод двух источников оценки времени разрешения детектора** основан на том, что в счетчике с конечным временем разрешения  $\tau$  скорость счета  $I$ , при увеличении интенсивности его облучения  $I_0$ , возрастает нелинейно, ввиду увеличения роли просчетов. Неизвестная величина  $I_0$  может быть вычислена по измеряемой величине  $I$  по формуле  $I_0 = I/(1 - I\tau)$  при известной величине  $\tau$  (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум»). Для определения мертвого времени  $\tau$  методом двух источников необходимо с достаточной статистической точностью по методике, оговоренной

далее, определить скорость, счета для одного источника  $I_1$ , второго источника  $I_2$  и двух источников вместе  $I_{1,2}$ . Для каждого из этих случаев соответствующая интенсивность облучения:

$$I_{01} = I_1/(1 - I_1 \cdot \tau) \quad I_{02} = I_2/(1 - I_2 \cdot \tau) \quad I_{01,2} = I_{1,2}/(1 - I_{1,2} \cdot \tau)$$

Если расположение каждого источника относительно детектора, в том случае, когда они измеряются по отдельности, и в том случае, когда они измеряются вместе, абсолютно одинаково, то обеспечивается выполнение очевидного соотношения  $I_{01} + I_{02} = I_{01,2}$ , а также соотношения  $I_{1,2} < I_1 + I_2$ , справедливого из-за просчетов.

Используя приведенные соотношения и пренебрегая величиной типа  $I^2 \cdot \tau^2$  по сравнению с величиной типа  $I \cdot \tau$ , в силу сравнительной малости  $\tau$ , после несложных алгебраических преобразований получим выражение для вычисления времени разрешения счетчика:  $\tau = (I_1 + I_2 - I_{1,2})/2 \cdot I_1 \cdot I_2$  [12]. Так как числитель этой дроби невелик и может быть сравним со скоростью счета фоновых сигналов, неизбежных в условиях применяемой лабораторной установки без специальной защиты счетчика и учитываемых при измерении  $I_1$  и  $I_2$  дважды, а при измерении  $I_{1,2}$  один раз, то подсчет разрешающего времени необходимо проводить, уменьшив числитель на величину скорости счета фоновых импульсов. Очевидно, что в знаменателе дроби в такой поправке нет необходимости, так как  $I_{\text{фона}}$  значительно меньше  $I$  (неточностью определения  $I_{\text{фона}}$ , связанной с просчетами, пренебрегаем [13]). Итак, сравнительно хорошее приближение для определения разрешающего времени счетчика методом двух источников имеет вид:  $\tau = (I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_{\text{фона}})/2 \cdot I_1 \cdot I_2$ .

#### Глава 4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**1). Проверить включение, а при необходимости подключить к сети 220 В лаборатории кабели питания приборов установки.**

**Оформление лабораторной работы должно соответствовать требованиям пункта 1 «Введения в физпрактикум».**

2). Порядок работы с пересчетным прибором ПС02-08 (упрощенное название: пересчетка). Прибор способен подсчитывать электрические импульсы любой полярности с амплитудой, превышающей порог срабатывания прибора. Время набора импульсов (время экспозиции) задается по секундомеру экспериментатора.

Включить прибор, нажав кнопку «Сеть». Должна загореться световая индикация декастронов. Система декастронов осуществляет десятичную запись числа зарегистрированных импульсов (справа-налево: единицы, десятки, сотни и т.д.). После прогрева в течение 1÷2 мин. прибор готов к работе.

В приборе предусмотрена проверка правильности его работы, путем подсчета электрических импульсов сетевого напряжения частотой 50 Гц, которые вырабатываются самим прибором, (осуществляется нажатием кнопки «Проверка»). По «ГОСТу» отклонение частоты сети от номинального значения не должно превышать 0,5% от ее величины.

Подсчет внешних импульсов, в данном случае сигналов со счетчика Гейгера, осуществляется нажатием кнопки «Пуск». Сигналы со счетчика в пересчетку заводятся не на передний разъем «Вход», а на задний разъем по одному из проводов, соединяющих блок БГС-3 и пересчетку. Остановка счета производится нажатием кнопки «Стоп». Сброс показаний от любого предшествующего подсчета осуществляется нажатием кнопки «Сброс». Правильность сброса (световая индикация всех декастронов должна установиться на значении «0») необходимо проверять, а в случае неправильного сброса – повторить его.

В приборе предусмотрен подсчет внешних импульсов различной полярности, положительной или отрицательной (включается нажатием – отжатием соответствующей кнопки). При правильно нажатой кнопке подсчет поступающих на пересчетку импульсов происходит с гораздо большей интенсивностью, чем в противном случае (см. дифференцирующие цепочки в курсе радиотехники), в чем легко убедиться.

Подсчет импульсов малой и большой амплитуды осуществляется при соответственно нажатой (отжатой) кнопке **1:1** или **1:5**. Поскольку измерения в работе должны будут проводиться и на начальном участке счетной характеристики, где амплитуда импульсов счетчика невелика, то рекомендуется работать с установкой этой кнопки в положении **1:1**.

Установка верхнего или нижнего значения кнопок полярности и величины амплитуды соответствует установке кнопки «Сеть».

Определение интенсивности регистрируемых импульсов производится по формуле  $I = N/t$ , где  $N$  – число сигналов (импульсов), зарегистрированных пресчеткой за некоторое, выбранное экспериментатором время  $t$  от момента нажатия на кнопку “Пуск” (или “Проверка” – в режиме проверки) до момента нажатия на кнопку “Стоп”.

**Провести проверку правильности работы пересчетной схемы прибора ПСО2-08 с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений (оформлении лаб. раб.).**

Удобную форму регистрации измеряемых величин выбрать самостоятельно (здесь и в дальнейшем). Принять, что несинхронность момента нажатия кнопки пересчетки с ходом секундомера (секундной стрелки часов), как в момент пуска, так и в момент остановки составляет в среднем для оператора величину порядка 0,1 сек. (среднее время реакции человека без специальной тренировки). Общее время набора импульсов проверки за одно или несколько измерений имеет смысл выбрать таким, чтобы погрешность отсчета времени не превышала погрешности частоты сети, даваемой «ГОСТом». Убедитесь в том, что время проведения одного измерения с указанной выше точностью должно быть не менее 40 сек. Среднее значение из, например, 4-х результатов измерений по 10 сек. будет иметь такую же точность [14].

Отметим, предпочтительность нескольких коротких измерений перед одним продолжительным, равным сумме времен коротких, при измерении величин со случайной статистической погрешностью. Результаты коротких измерений можно сопоставить друг с другом, получая уверенность в стабильности работы установки, а результат одного измерения сравнить не с чем (возможна ситуация плохой или неправильной работы установки в процессе этого измерения). При измерении же какой-либо зависимости случайной величины с заданной точностью, (например,  $I(U)$  – счетная характеристика и т.п.), нет необходимости в нескольких измерениях при данном напряжении, так как есть возможность сопоставления соседних результатов измерений.

Полученный усредненный результат  $I_{\text{пров}}$  не должен отличаться от значения 50 имп./сек на величину, превышающую суммарную погрешность измерения времени и частоты сети, указанную выше. Подтвердить это соответствующими расчетами в протоколе измерений. В противном случае пересчетный прибор работает неверно (обратиться к преподавателю).

**3).** Порядок работы с универсальным источником питания УИП-1. Прибор УИП-1 обеспечивает на выходе стабилизированное регулируемое напряжение постоянного тока. Величина выходного напряжения регистрируется вольтметром прибора. Для питания счетчика Гейгера используется регулируемый выход 20÷600В; отрицательный полюс источника заземлен (см. схему включения счетчика). Во всех описываемых в инструкции соединениях, подключениях и установках приборов желательно непосредственно убеждаться при выполнении лабораторной работы. Необходимое напряжение устанавливается оператором с помощью ручек грубой регулировки, скачками, (должно быть реализовано четкое переключение скачком, а не попытка плавного поворота рукоятки, при котором контакты переключателя замыкаются неверно) и плавной регулировки, с контролем по вольтметру прибора (тумблер вольтметра должен быть включен вправо, т.е. вольтметр подключен к выходу 20÷600 В). Выход 0÷400 В в данной работе не используется. Отметим, что вообще возможности достаточно мощного прибора УИП-1 в данной лабораторной работе используются в весьма незначительной степени. Так амплитудные значения тока счетчика не превышают нескольких сотен микроампер, что легко уяснить по амплитуде напряжения импульса счетчика и примерному значению сопротивления  $R$  (см. п. 6 гл. 1) [15], а возможный максимальный ток прибора 600 мА.

Убедившись в том, что ручки регулировки напряжения используемого выхода 20÷600 В установлены соответственно минимальному выходному напряжению (выведены влево до упора)

включить сетевой тумблер прибора УИП-1 и, при необходимости, тумблер «Анод» (рекомендуется включение любого источника питания производить при минимальных установках выходного напряжения, а затем вводить необходимые напряжения [16]). После 1-2 мин. прогрева прибора ввести напряжение 400 В, что приблизительно соответствует середине области счетного плато используемого счетчика Гейгера (см. п. 7 гл. 1). Порядок значения рабочего напряжения счетчика, величину которого необходимо определить по результатам измерения счетной характеристики, сообщается заранее, для проверки работоспособности установки.

4). Нажать кнопку «Пуск» пересчетного прибора ПС02-08 и убедиться в том, что пересчетная схема производит подсчет импульсов естественного (природного) фона ионизирующих излучений. Естественный фон обусловлен регистрацией счетчиком частиц и квантов радиоактивного излучения Земли и космического излучения.

**Определить приблизительно (грубо) интенсивность (или уровень) регистрируемого естественного «фона» данным счетчиком** (данной лабораторной установкой) по одному – двум коротким (время экспозиции 10 – 20 с) измерениям и **обсудить полученное значение с преподавателем**, которому известен порядок этой величины для всех установок лаборатории, чтобы получить уверенность в работоспособности установки. Отметим, что полученное значение «фона» не является объективной характеристикой этой величины (зависит от конкретного датчика и свойств установки в целом [17]). Представление об объективной характеристике величины природного радиационного фона будет дано в лабораторной работе №3.

**5). Получить у преподавателя радиоактивные источники для данной лабораторной работы. Проверить работоспособность установки.** Для этого поднести один или оба радиоактивных источника поближе к счетчику и убедиться в том, что пересчетка начала считать импульсы регистрации счетчиком квантов радиоактивного излучения препарата («вращение» световой индикации декад пересчетки проходит намного быстрее, чем для «фона»), т.е. работа установки осуществляется нормально. Радиоактивные препараты удобно класть под счетчик в районе его середины, возможно на какую-либо подставку, чтобы увеличить интенсивность регистрации излучения. Попробуйте различные варианты расположения источников относительно детектора, сравните качественно скорости регистрации, осмыслите результаты. Отметим, что при измерениях в работе с одним источником, второй должен быть удален от детектора на сравнительно значительное расстояние, чтобы не вносить погрешность в измерения.

**б). Выполнить п. 1 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями** (см. п. 5.5 «Введения в физпрактикум» и п. 7 гл. 1 инструкции к работе).

**Получить счетную характеристику счетчика Гейгера. Представить таблицу измерений и график. Определить и указать напряжение зажигания и рабочее напряжение счетчика. Вычислить наклон плато счетной характеристики.**

Отметим, что желающие сократить время выполнения лабораторной работы могут совместить выполнение п. 1 экспериментальной части с одновременным выполнением п. 4, освоив предварительно работу с осциллографом (см. ниже).

Использовать один (или два вместе) радиоактивных источника. Расположение препаратов относительно счетчика выбрать самостоятельно (подумать, с учетом опыта, полученного по предыдущему пункту «Порядка выполнения работы», над более рациональным расположением источников, вызванным необходимостью выполнить требования об указанной ниже ошибке измерения и естественным желанием сократить по возможности время измерений). Интервал устанавливаемых напряжений при измерении равен 20 В. Измерения производить от напряжения зажигания самостоятельного разряда (определить по началу регистрации пересчеткой импульсов счетчика Гейгера при постепенном повышении его напряжения питания) до получения возрастающей ветви счетной характеристики после области плато, но не переводить счетчик слишком высоким напряжением в область непрерывного разряда, что приведет к порче счетчика. Если при напряжении на счетчике порядка 550 В, или немного более, сравнительно резкого возрастания счетной характеристики не наблюдается, далее напряжение не повышать, достигнутое напряжение считать концом плато.

Время отдельного измерения, т.е. фактически число отсчетов пересчетки  $N$  (см. далее текст курсивом), выбрать по порядку величины таким, чтобы относительная статистическая ошибка отдельного измерения не превышала 5%.

*Абсолютная ошибка (погрешность)  $\Delta$  измерения любой дискретной случайной величины, (например  $N$  – число импульсов, отсчитанных пересчеткой за определенное время, выбранное экспериментатором), распределение которой есть распределение Пуассона, соответствует дисперсии распределения и равно в данном случае  $\Delta = \sqrt{N} = N^{1/2}$  (см. лаб. раб. №4).*

*Относительная ошибка этого измерения  $\delta = \sqrt{N}/N = N^{1/2}/N = N^{-1/2}$ . Для уменьшения этой ошибки нужно либо увеличивать  $N$ , т.е. время отдельного измерения, либо сделать несколько, например,  $n$  более коротких измерений и тогда относительная ошибка среднего из этой серии измерений равна  $N_{\text{ср.}}^{1/2}/(N_{\text{ср.}} \cdot n^{1/2})$ , т.е. в корень из  $n$  раз меньше ошибки одного измерения. Так как все измеренные  $N_i$  не слишком сильно различаются между собой (отличия порядка  $N_i^{1/2}$ ), то по первой измеренной величине  $N$  можно вычислить  $n$ , необходимое для реализации заданной ошибки измерений. Очевидно также, что  $\delta = (\sum N_i)^{-1/2}$ .*

*Отметим, что согласно статистике Пуассона, при нормальной работе установки в одинаковых условиях, примерно 68% измерений лежат в интервале  $N_{\text{ср.}} \pm N_{\text{ср.}}^{1/2}$ , а практически 100% измерений лежат в интервале  $N_{\text{ср.}} \pm 3 \cdot N_{\text{ср.}}^{1/2}$ . Выход за указанные интервалы связан либо с нестационарностью исследуемых процессов, либо с неисправностями в установке (обратитесь к преподавателю).*

#### **Примечание.**

При проведении линии графика усреднение экспериментальных данных, имеющих статистический разброс из-за вероятностного характера исследуемых процессов, провести «на глаз». При нормальной работе лабораторной установки и отсутствии ошибок эксперимента, получаемый график должен соответствовать графику, приведенному (или описанному словесно) в теоретическом введении в лабораторную работу или во «Введении в физпрактикум». Линия графика должна плавно проходить между экспериментальными точками так, чтобы минимизировать суммарное отклонение этих точек от проводимого графика (метод наименьших квадратов или метод максимума правдоподобия при математической обработке результатов эксперимента).

#### **7). Выполнить п. 2 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями.**

#### **Определить естественный фон данного счетчика (интенсивность счета фона) с заданной статистической точностью.**

Напряжение питания счетчика должно примерно соответствовать его рабочему напряжению, определенному в п. 1 экспериментальной части работы (можно предварительно, до построения графика определить его «на глаз» по числам таблицы измерений счетной характеристики). Радиоактивные препараты должны быть удалены от счетчика. Время одного измерения (или соответственно количество измерений) выбрать таким, чтобы статистическая погрешность определения фона не превышала **10%**.

**8).** Порядок работы с осциллографом С1-5. Включить осциллограф тумблером «Сеть» (должно осветиться окошко под осциллографической трубкой). После 1-2 мин. прогрева осциллограф готов к работе. Опытные «осциллографисты» и «осциллографистки» получают изображение сигнала со счетчика (см. п. 6 гл. 1) по своему усмотрению, а неопытные – действуют по предложенным далее рекомендациям, при необходимости используя помощь преподавателя.

Для настройки осциллографа вынуть разъем кабеля, по которому сигнал счетчика поступает от блока БГС на осциллограф, из входного гнезда осциллографа. Установить следующие положения переключателей и ручек осциллографа:

а). «Род синхр.» (синхронизации) – в положение «Внутри», (в дальнейшем не изменяется). При этом синхронизация внешнего сигнала, подаваемого на осциллограф, осуществляется сигналом от генератора развертки самого осциллографа подбором его частоты переключателем

«Развертка» и ручкой «Синхронизация». Возможна также синхронизация и сигналом внешнего генератора (в работе не используется).

б). «Делитель» – (делитель входного сигнала) в положение 1:100 (входной сигнал ослабляется делителем осциллографа по амплитуде в 100 раз перед подачей на последующие блоки осциллографа).

в). «Усиление» – приблизительно в среднее положение (около 5).

Переключателем «Делитель» и ручкой «Усиление» регулируется величина изображения подаваемого на осциллограф сигнала по вертикали. Изображение должно быть достаточно крупным, но и помещаться в пределах экрана. Начинать поиск изображения любого сигнала нужно с минимальных значений усиления, постепенно увеличивая усиление. Сигнал, который по размерам выходит за рамки экрана трубки осциллографа можно не заметить.

г). «Род. работы» – в положение. «Непр.» (непрерывная развертка – автоколебательный режим генератора развертки).

д). «Метки» – в положение «Выкл.».

е). «Развертка» – в положение 1000 (частота развертки порядка 1000 Гц).

ж). «Синхронизация» – вправо до упора (регулировка уровня синхронизации).

з). «Частота плавно» – в положение 1 (плавная регулировка частоты развертки).

Если входное гнездо осциллографа свободно (разъем сигнального кабеля удален), т.е. сигнал на вертикально отклоняющие пластины не подается, то на экране должна наблюдаться горизонтальная линия развертки (луч осциллографа периодически перемещается по экрану линейно нарастающим напряжением генератора развертки, подаваемым на горизонтально отклоняющие пластины). Ручками «Яркость», «Фокус», «Смещ. Y» и «Смещ. X» отрегулировать качество изображения линии и ее положение на экране так, чтобы ее левый конец был в левой половине экрана.

и). Перевести переключатель «Род. работы» в положение. «Жд. » (жду́щая развертка импульсов отрицательной полярности в соответствии с полярностью импульсов счетчика). На экране осциллографа должна наблюдаться светящаяся точка там, где был левый край линии развертки. При необходимости произвести соответствующую регулировку ручками «Яркость», «Фокус». Режим непрерывной развертки применяется для наблюдения периодических сигналов и, если частота генератора развертки подобрана совпадающей с частотой сигнала, то его изображение будет неподвижным, удобным для наблюдения. Режим ждущей развертки применяется для наблюдения коротких импульсов. Генератор развертки начинает равномерное горизонтальное движение луча осциллографа только с началом подачи исследуемого сигнала на вертикально отклоняющие пластины (осциллограф «ждет» сигнал, чтобы начать его развертку во времени). При этом, если импульс поступает с определенной периодичностью и частота генератора развертки соответствует ей, то изображение импульса также будет неподвижным.

к). Подключить разъем сигнального кабеля к входному гнезду осциллографа «Вход Y». Если на счетчик подано рабочее напряжение питания, то на экране должно появиться изображение сигналов, подобное приведенному на рис. выше при описании сигнала со счетчика Гейгера (см. п. 6 гл. 1). Если счетчик при этом облучается только естественным фоном, то наблюдаемые сигналы появляются на экране весьма редко (лучше видны на затененном экране), а если вблизи счетчика находится радиоактивный источник, то частота появления сигналов значительная и изображение на экране похоже на то, что приведено на рис. Переключателем «Развертка», «Делитель», ручками «Усиление», «Смещ. Y» и «Смещ. X» отрегулировать удобный для наблюдения вид изображения сигналов и по вертикали и по горизонтали (при этом постарайтесь осмысливать результаты ваших действий). Идеальной неподвижности сигнала получить не удастся, так как сигнал неперiodичен, имеет случайный, вероятностный характер появления.

**9). Выполнить п. 3 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями** (см. п. 5.3 «Введения в физпрактикум» и п.п. 4, 5, 6 гл. 1 данной инструкции).

**Измерить по осциллографу параметры выходного сигнала счетчика (амплитуда и длительность) при рабочем напряжении на нем. Зарисовать форму импульса с указанием его**

**параметров. Наблюдая импульсы меньшей амплитуды, возникающие на отрезке времени восстановления, оценить приближенно «мертвое» время (см. рис. сигнала счетчика) и предельную загрузку детектора. Убедиться в том, что амплитуда сигнала не зависит от вида и энергии регистрируемого излучения (фоновое облучение, различные источники излучения).**

Соответствующим расположением радиоактивного источника подобрать удобную для наблюдения импульсов на осциллографе частоту сигналов счетчика.

**Измерение амплитуды сигнала.** Установить подбором соответствующих ручек управления работой осциллографа удобное для наблюдения на экране трубки изображение импульса счетчика (высота 4 – 5 см.). Импульс должен при этом полностью помещаться в пределах экрана трубки. Определить по применяемой подручной «шкале» (линейка, полоска миллиметровки или бумаги в клеточку и т.п.) высоту изображения импульса т.е. его амплитуду в делениях вашей шкалы. Переключить ручку “Делитель” в положение “Калибр.” Положение ручки “Усиление” при этом не менять! В режиме “Калибр.” на вертикально отклоняющие пластины осциллографа подается сигнал внутреннего генератора осциллографа, амплитуда которого определяется положением ручки “калибровка амплитуды”. Ручкой “калибровка амплитуды” установить высоту получающегося изображения (изображение примет удобную форму вертикальной полоски, если ручку «Синхронизация» вывернуть влево до упора, конечно, потом для наблюдения импульса счетчика ее нужно вернуть в обратное положение вправо до упора) равную высоте изображения импульса. По верхней шкале “Имп.” показателя “калибровка амплитуды” отсчитать показание шкалы. Величина амплитуды измеряемого импульса в вольтах равна этому показанию, умноженному на знаменатель дроби – положение ручки «Делитель», при котором устанавливалась высота измеряемого импульса.

**Измерение (оценка) длительности сигнала.** Получить на экране изображение импульса. Импульс должен при этом полностью помещаться в пределах экрана трубки и по горизонтали (осознать, где примерно заканчивается импульс, а где заканчивается период горизонтальной развертки осциллографа [18]). Ручку «Метки» (мксек – микросекунды) поставить в положение 100. При этом пропуск электронного луча на экран осциллографа осуществляется за счет внутреннего генератора через интервал времени 100 мксек, изображение импульса становится пунктирным (интервал времени между серединами двух соседних «черточек» пунктира при данном положении ручки «Метки» равен 100 мксек). Интервал 100 мксек обеспечит вполне достаточную точность оценки длительности сигнала. Длительность импульса равна цене метки, умноженной на число меток, уложившихся на длине импульса. В силу асимптотического окончания импульса положение конца импульса оценить приближенно. Аналогично оценить величину «мертвого» времени счетчика.

**10). Выполнить п. 4 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями** (см. п.п. 4, 5 и 6 гл. 1 данной инструкции).

**Получить зависимость амплитуды выходного сигнала от напряжения питания счетчика. Представить таблицу измерений и график. Предложить объяснение полученного результата – примерно линейная зависимость.**

Интервал изменения напряжения питания счетчика – 20 В от  $U_{зак.}$  до напряжения, соответствующего концу плато счетной характеристики.

**11). Выполнить п. 5 экспериментальной части лабораторной работы с регистрацией всех необходимых величин в протоколе измерений и краткими пояснениями** (см. п. 5.3. «Введения в физпрактикум»).

**Измерить с заданной погрешностью время разрешения счетчика методом двух источников. Представить таблицу измерений и результаты вычисления. Сопоставить полученный результат с оценкой «мертвого» времени по осциллографу.**

Приведенная при описании метода двух источников формула:  $\tau = (I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_{фона})/2 \cdot I_1 \cdot I_2$  даст сравнительно достоверный результат для времени разрешения счетчика, сравнимый с оценкой по осциллографу, если измеряемые интенсивности  $I_1$ ,  $I_2$  и соответственно  $I_{1,2}$  будут сравнимы с

величиной предельной загрузки счетчика  $I_{\text{пред.}} = 1/\tau$ , чтобы роль просчетов была заметной. Конечно же, статистическая ошибка при измерении всех интенсивностей  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{1,2}$  и  $I_{\text{фона}}$  должна быть достаточно малой, чтобы обеспечить как выполнение очевидного соотношения:  $I_1 + I_2 > I_{1,2} + I_{\text{фона}}$ , так и сравнительно малую ошибку в определении  $\tau$ . Приведем оценку времени измерений указанных интенсивностей, необходимых для достижения этого.

Очевидно, что неточность в определении интенсивностей значительно сильнее скажется в определении числителя в формуле для  $\tau$ , чем знаменателя [19], т.е. погрешностью определения знаменателя можно пренебречь и считать его величиной точной. Тогда абсолютная погрешность в определении  $\tau$  есть  $\Delta\tau = \Delta(I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_{\text{фона}})/2 \cdot I_1 \cdot I_2$ , а относительная погрешность  $\Delta\tau/\tau = \Delta(I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_{\text{фона}})/(I_1 + I_2 - I_{1,2} - I_{\text{фона}})$ , т.е. равна относительной погрешности определения числителя. Принимая абсолютную погрешность алгебраической суммы, равной сумме абсолютных погрешностей слагаемых, имеем:  $\Delta\tau/\tau = (\Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_{1,2} + \Delta I_{\text{фона}})/2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \tau$ . Используя определение интенсивности, имеем  $I_1 = N_1/t_1$ ,  $I_2 = N_2/t_2$ ,  $I_{1,2} = N_{1,2}/t_{1,2}$ ,  $I_{\text{фона}} = N_{\text{фона}}/t_{\text{фона}}$ , где введены времена измерения и соответствующие количества отсчетов импульсов. Пренебрегая погрешностью отсчета времен измерения  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_{1,2}$  и  $t_{\text{фона}}$ , получим  $\Delta\tau/\tau = (\Delta N_1/t_1 + \Delta N_2/t_2 + \Delta N_{1,2}/t_{1,2} + \Delta N_{\text{фона}}/t_{\text{фона}})/(2 \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot \tau/t_1 \cdot t_2)$ . Подбирая расположение радиоактивных источников относительно счетчика так, чтобы  $I_1 \approx I_2 = I$ , получим, что при выборе времен измерения так, чтобы  $t_1 = t_2 = t$ , результаты измерений  $N_1 \approx N_2 = N$ , а если потребовать, чтобы и  $N_{1,2} \approx N$ , то в пренебрежении просчетами  $t_{1,2} \approx t/2$ . Теперь имеем  $\Delta\tau/\tau = (4 \cdot \Delta N/t + \Delta N_{\text{фона}}/t_{\text{фона}}) \cdot t^2/(2 \cdot N^2 \cdot \tau)$ . Пренебрегая в числителе вторым слагаемым по сравнению с первым (либо при  $t_{\text{фона}} = t$  имеем  $\Delta N_{\text{фона}}$  много меньше  $\Delta N$ , либо при  $\Delta N_{\text{фона}} = \Delta N$  имеем  $t_{\text{фона}}$  много больше  $t$ ), получим, что в принятых обозначениях  $\Delta\tau/\tau = 2 \cdot \Delta N \cdot t/N^2 \cdot \tau$ . Учитывая, что  $N = I \cdot t$ , получим величину времени измерения  $t = t_{\text{измер.}} = 4/(I^3 \cdot \tau^2 \cdot (\Delta\tau/\tau)^2)$ . Предполагая измерение времени разрешения счетчика даже со сравнительно большой относительной погрешностью  $\Delta\tau/\tau = 1$ , (т.е. 100%) и подставляя в полученную формулу расчета времени набора статистики оценку величины  $\tau$ , найденную по осциллографу, можно вычислить примерную величину времени  $t_{\text{измер.}}$  набора числа отсчетов  $N$  (т.е. времени измерения величин  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{1,2}$ ) для такой относительной погрешности величины  $\tau$ , если оценить величины  $I_1 \approx I_2 = I$ .

В соответствии с приведенными выше соображениями, **рекомендуется следующий порядок измерений для реализации метода двух источников:**

1). Определить, какой из имеющихся двух радиоактивных источников обладает меньшей интенсивностью излучения. Оценку провести грубо, по одному-двум непродолжительным измерениям. Очевидно, что при измерении одного источника, второй должен быть удален от счетчика на достаточно большое расстояние, а помещать источники при измерениях их сравнительной активности необходимо на одно и то же место относительно счетчика.

2). Источник меньшей интенсивности излучения аккуратно положить сверху примерно на середину счетчика (максимально возможная интенсивность облучения счетчика) и по одному-двум измерениям продолжительностью, например, по 1 мин. оценить величину  $I_1$ , которая будет очевидно максимально возможной для него в этом эксперименте. Полученная оценка величины интенсивности  $I_1 \approx I$ , позволяет оценить время экспозиции  $t_{\text{измер.}}$  для получения оговоренной выше ошибки  $\Delta\tau/\tau = 1$ . Необходимо отметить, что при исследовании любых вероятностных или случайных процессов для измерений величин с достаточно малой погрешностью необходимо затрачивать на измерения достаточно много времени.

**Примечание:** если для рекомендованной реализации метода с заданной относительной погрешностью потребуется по оценке  $t_{\text{измер.}}$  слишком много времени, то, по согласию с преподавателем, произвести измерения интенсивностей  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{1,2}$  как среднее из пяти измерений по 1 мин. для каждой интенсивности.

3). Удалив первый, более слабый источник, подложить второй, более мощный источник под середину счетчика и подкладывая под него при необходимости какие-либо подручные предметы (тетрадку, набор монеток, сложенный в несколько слоев листик бумаги и т.п.) подобрать его такое

положение, при котором интенсивность регистрации его излучения примерно соответствует интенсивности регистрации предыдущего менее мощного источника, т.е.  $I_2 \approx I_1$ . Далее провести измерение величины  $I_2$ , затратив на ее измерение общее время одного или нескольких менее продолжительных измерений, примерно равное величине времени  $t_{\text{измер.}}$ , оцененной выше, либо в соответствии с указанным примечанием.

4). Не трогая второй источник, вернуть первый сверху на счетчик, как рекомендовано в п. 2, и за общее время измерения  $t_{\text{измер.}}/2$  (либо по примечанию) определить величину  $I_{1,2}$ .

5). Убрать второй, нижний источник и измерить  $I_1$  аналогично измерению только одного второго источника, т.е. за время  $t_{\text{измер.}}$  (либо по примечанию).

Именно такой порядок измерений обеспечит условия применимости описанного выше метода двух источников и реализацию измерения величины  $\tau$  с относительной погрешностью порядка 1, т.е. (100%).

Измерив  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_{1,2}$  и используя ранее определенную величину  $I_{\text{фона}}$ , вычислить величину разрешающего времени  $\tau$  данного счетчика Гейгера с оговоренной относительной погрешностью 100%, если использовалось время экспозиции  $t_{\text{измер.}}$ , и с еще большей погрешностью, при измерениях по методике, указанной в примечании.

12). Выключить тумблеры «Сеть» приборов лабораторной работы, привести в порядок рабочее место. **Сдать радиоактивные источники преподавателю.**

13). Оформить лабораторную работу и отчитаться по ней перед преподавателем.