

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ РФ
МОСКОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

В.Г. Бондаренко, М.А. Кирсанов, В.В. Кушин,
Н.А. Миханчук, С.Г. Покачалов

СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

Лабораторная работа

МОСКВА 2009

СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

Лабораторная работа

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 4 |
| Контрольное задание | 14 |
| Лабораторная установка | 14 |
| Рабочее задание | 17 |
| 1. Снятие счетной характеристики | 17 |
| 2. Выбор рабочего напряжения для работы счетчиков в схеме совпадений | 18 |
| 3. Зависимость амплитуды импульса напряжения от величины напряжения на электродах самогасящегося счетчика. | 19 |
| 4. Исследование временных параметров счетчика | 19 |
| 4.1. Измерение мертвого времени и времени восстановления с помощью осциллографа | 19 |
| 4.2. Оценка порога срабатывания формирователя | 20 |
| 4.3. Определение времени разрешения счетчика методом двух источников. | 20 |
| 5. Оценка эффективности регистрации космических заряженных частиц | 22 |
| Обработка результатов | 23 |
| Контрольные вопросы и задания | 24 |
| Список литературы | 24 |

СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

Цель работы: изучение принципа действия и основных характеристик самогасящегося счетчика Гейгера-Мюллера, а именно: счетной характеристики, временных параметров (мертвого времени τ_m , времени восстановления τ_v , времени разрешения τ_p), эффективности регистрации космических заряженных частиц.

ВВЕДЕНИЕ

Счетчики Гейгера-Мюллера относятся к газовым ионизационным детекторам, работающим в режиме самостоятельного газового разряда. Счетчики Гейгера-Мюллера имеют различную геометрическую форму (цилиндрические, торцевые и т.д.).

Рассмотрим механизм возникновения самостоятельного газового разряда на примере цилиндрического детектора, заполненного инертным газом, в котором диаметр катода (цилиндра) много больше диаметра анода (металлической нити, натянутой по оси цилиндра).

Известно, что при повышении разности потенциалов в газовых цилиндрических детекторах, заполненных инертными газами, электроны первичной ионизации при дрейфе к аноду создают в области ударной ионизации вблизи анода электронно-ионные лавины и возбужденные атомы или молекулы газа, которые, возвращаясь в основное состояние, испускают кванты ультрафиолетового излучения.

Эти фотоны практически не поглощаются в газе, попадают на катод и за счет внешнего фотоэффекта на нем создают дополнительные свободные электроны. Другим источником электронов являются положительные ионы инертного газа. Эти ионы имеют потенциальную энергию, превышающую

удвоенную работу выхода с поверхности катода, поэтому, подходя к катоду из области ударной ионизации, также приводят к появлению свободных электронов (вторичные процессы на катоде). Эти электроны под действием электрического поля дрейфуют к нити, в свою очередь образуя электронно-фотонные лавины. Общее число электронов с катода определяется величиной $\gamma m N_0$, где γ – вероятность образования свободного электрона за счет вторичных процессов на катоде ($\gamma \sim 10^{-4}$), m – коэффициент усиления, равный отношению полного числа пар ионов N в лавине к числу пар N_0 , первоначально созданных регистрируемой частицей.

Если газовое усиление не очень велико γm в этой области напряжений существенно меньше единицы. При дальнейшем повышении разности потенциалов между электродами m растет и наступает момент, когда $\gamma m \rightarrow 1$.

Это означает, что каждая электрон-ионная лавина в области ударной ионизации за счет вторичных процессов на катоде способна создать в среднем один свободный электрон, который, свою очередь, дает следующую лавину и т.д. Это приводит к возникновению самоподдерживающегося разряда в детекторе, который принято называть самостоятельным.

Самостоятельный газовый разряд можно использовать для регистрации ионизирующих излучений, если создать условия его гашения до попадания в рабочий объем следующей частицы.

Рассмотренный выше тип непрерывного самоподдерживающегося разряда в детекторе, заполненном только инертным газом, например аргоном, когда повторное развитие лавин идет за счет вторичных процессов на катоде, в настоящее время для целей регистрации не используется. Это связано с трудностями в гашении возникающего разряда, которое достигается только специально организованной внешней цепью (см., например, [2]). На практике реализован другой тип счетчиков, так называемые самогасящиеся счетчики Гейгера-

Мюллера, в которых практически полностью подавлены вторичные процессы на катоде, а развитие и гашение разряда, благодаря специальным добавкам к основному газу, идет непосредственно в объеме газовой смеси.

В самогасящихся счетчиках газовая смесь состоит из основного газа (обычно аргона ~ 90%) и примесного (гасящего) газа (~ 10%), представляющего собой сложное органическое соединение (пары спирта, эфира и т.п.).

Необходимо, чтобы компоненты рабочей смеси счетчика обязательно удовлетворяли следующему условию: потенциал ионизации гасящего газа должен быть меньше первого потенциала возбуждения основного газа (аргона).

Механизм развития и гашения разряда при этом условии выглядит следующим образом. Электроны, образованные на следе заряженной частицы в газовом промежутке счетчика, под действием внешнего электрического поля дрейфуют к аноду. Около анода (нити) возникают электронно-ионные лавины и возбужденные атомы и молекулы газа. Возбужденные атомы аргона, переходя в основное состояние, испускают кванты ультрафиолетового излучения, энергия которых равна первому потенциалу возбуждения аргона (~ 11,6 эВ).

Молекулы гасящей добавки активно поглощают это излучение, т.к. энергия их ионизации меньше энергии фотонов. Т.о. идет интенсивная фотоионизация молекул гасящей добавки (давление гасящего газа выбирают так, чтобы длина пробега фотона до поглощения не превышала 1 мм) вблизи анода, приводящая к образованию дополнительных свободных электронов, которые в свою очередь дают начало новым электронно-ионным лавинам.

Таким образом, происходит распространение лавин вдоль нити до тех пор, пока весь счетчик не будет охвачен разрядом. Для счетчиков средних размеров скорость распространения разряда вдоль нити $10^6 - 10^7$ см/с и, следовательно, время распространения – $10^{-5} - 10^{-6}$ с.

Естественно в процессе развития разряда возникает и большое количество возбужденных молекул гасящего газа.

Однако возбужденные сложные молекулы добавки либо диссоциируют на составляющие их радикалы, либо, переходя в основное состояние, испускают длинноволновые фотоны, которые фотоэффект на катоде не производят.

Электроны, имеющие большую подвижность, быстро собираются на аноде, ионы создают около нити объемный положительный заряд. Этот заряд понижает в конечном счете напряженность электрического поля вблизи нити до значения, при котором ударная ионизация уже невозможна и активная стадия разряда заканчивается.

Ионы аргона при дрейфе к катоду испытывают много соударений с молекулами гасящего газа. Так как потенциал ионизации гасящей добавки меньше, чем потенциал ионизации аргона, то в конечном счете ион аргона захватывает электрон от молекулы гасящего газа и нейтрализуется. Поэтому к катоду подходят в основном ионы гасящего газа.

В отличие от ионов аргона ионы добавки, подходя к поверхности катода вырывают не два, а один электрон, нейтрализуются, оказываются в возбужденном состоянии и диссоциируют на радикалы. Следовательно, при нейтрализации ионов добавки на катоде не возникает свободных электронов, которые могли бы инициировать повторный разряд в счетчике.

Таким образом, в самогасящемся счетчике Гейгера-Мюллера сохранены вторичные процессы, обеспечивающие развитие лавин в области ударной ионизации за счет фотоионизации примеси, при одновременном подавлении вторичных процессов с катода ($m\gamma \ll 1$).

В самогасящемся счетчике Гейгера-Мюллера для возникновения разряда достаточно образования в его рабочем объеме одной электронно-ионной пары. При этом амплитуда на его выходе может достигать единиц вольт. Амплитуда им-

пульса напряжения на выходе не зависит от первичной ионизации, созданной заряженной частицей в газе. Поэтому для спектрометрии ионизирующих излучений счетчик Гейгера-Мюллера не пригоден.

Форма и амплитуда импульса напряжения во внешней цепи счетчика Гейгера зависят от величины сопротивления нагрузки R и эквивалентной емкости C (емкость счетчика и подключенных к нему цепей электронных устройств). При выборе сопротивления нагрузки R внешней цепи исходят обычно из сопоставления времени распространения разряда вдоль нити ($10^{-5} - 10^{-6}$ с) с постоянной времени внешней цепи RC . Для счетчика средних размеров оптимальное значение сопротивления нагрузки лежит в диапазоне $10^5 - 10^6$ Ом. При таком выборе величины сопротивления время нарастания и время спада импульса примерно одинаковы.

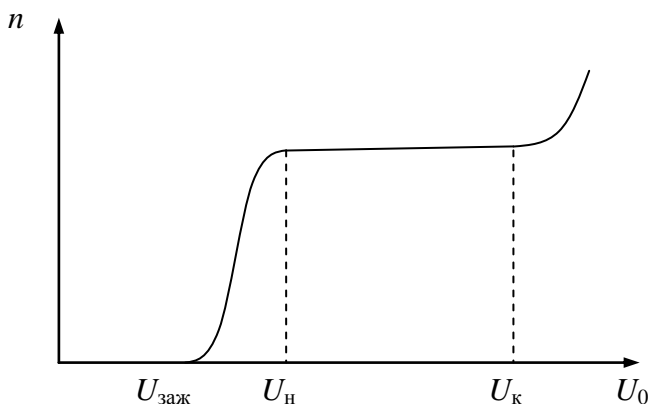


Рис.1. Счетная характеристика счетчика Гейгера-Мюллера

Основной характеристикой счетчика Гейгера-Мюллера является счетная характеристика — зависимость числа им-

пульсов n , регистрируемых счетчиком в единицу времени (скорость счета) от напряжения U_0 , приложенного к электродам, при постоянной интенсивности облучения. На рис.1 изображена типичная счетная характеристика счетчика. В области напряжений от начального U_n до конечного U_k (на «плато») скорость счета практически постоянна. В области напряжений $U_0 < U_n$ скорость счета резко падает и при напряжении на счетчике $U_0 = U_{\text{зж}}$, называемом потенциалом зажигания, практически равна нулю. В области $U_0 < U_n$ амплитуды импульсов напряжения от счетчика сравнительно невелики и еще зависят от начальной ионизации. Некоторые импульсы напряжения оказываются меньше порога чувствительности счетного устройства и поэтому не регистрируются последним. При $U_0 > U_k$ число регистрируемых импульсов резко возрастает за счет так называемых ложных импульсов. Наличие ложных (не связанных с прохождением частиц) импульсов обусловлено тем, что возможность повторения активной стадии разряда за счет вторичных эффектов на катоде абсолютно не исключена.

Действительно, как ни мала вероятность появления свободного электрона, отнесенная к одному положительному иону, нейтрализующемуся на катоде, она имеет конечную величину. Вторичные электроны могут возникнуть при подходе к катоду положительных ионов основного газа, которые избежали нейтрализации во время дрейфа. Ионы гасящего газа при нейтрализации на катоде также могут образовать свободный электрон, если возбужденная молекула высветит фотон, а не диссоциирует. Так как количество положительных ионов, образующихся в разряде велико ($10^9 - 10^{10}$), вероятность появления свободного электрона на катоде с учетом всех положительных ионов может составить заметную величину.

Как уже отмечалось выше, вспышка газового разряда в счетчике Гейгера-Мюллера заканчивается возникновением вблизи нити (анода) положительного объемного заряда. Реги-

страция следующей частицы возможна только после того, как положительные ионы отойдут от анода на некоторое критическое расстояние $r_{кр}$, при котором напряженность электрического поля в области ударной ионизации (в области анода) восстановится до значения, соответствующего потенциалу зажигания газа, наполняющего счетчик.

Таким образом, интервал времени между моментом попадания частицы в объем счетчика и моментом времени, когда положительные ионы отойдут от анода на критическое расстояние $r_{кр}$, называется **мертвым временем** τ_m . Это время, в течение которого счетчик не регистрирует частицы, попадающие в него. Рис.2 иллюстрирует изменение амплитуды импульса напряжения ΔU на выходе счетчика в зависимости от интервала времени между регистрируемыми частицами.

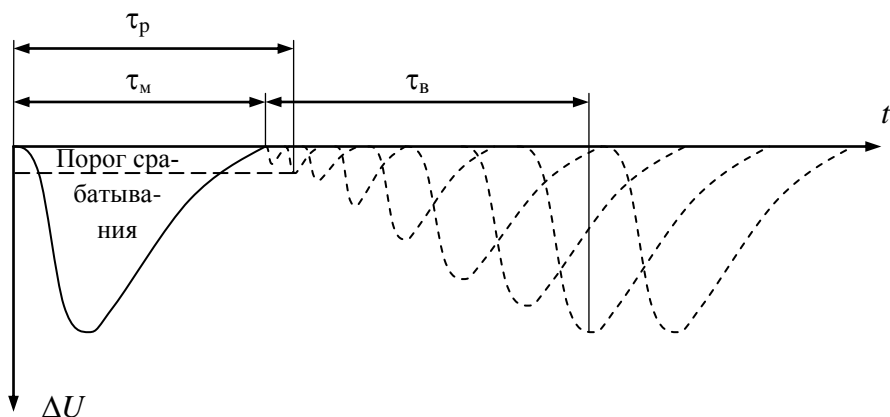


Рис.2. Временные характеристики счетчика Гейгера-Мюллера

После того как положительные ионы отойдут от анода на расстояние больше критического, счетчик начнет регистрировать ионизирующие частицы, попадающие в его рабочий

объем, но амплитуда импульса напряжения на выходе детектора будет меньше номинальной. Номинальную амплитуду импульса напряжения можно получить только после полной нейтрализации положительных ионов на катоде и полного восстановления напряженности поля в области ударной ионизации. Время, в течение которого положительные ионы проходят путь от критического расстояния $r_{кр}$, до катода, называется **временем восстановления** τ_v (рис.2.)

Порог срабатывания чувствительных электронных счетных систем, используемых обычно в работе со счетчиками Гейгера-Мюллера, довольно мал (доли вольт), поэтому ионизирующие частицы, попадающие в рабочий объем счетчика во время процесса восстановления разности потенциалов до номинального значения, могут быть зарегистрированы счетчиком. Минимальный промежуток времени между двумя следующими друг за другом частицами, когда они регистрируются счетчиком раздельно, называется **временем разрешения** τ_p . Очевидно, что $\tau_p \geq \tau_m$ и соотношение между ними зависит от порога срабатывания.

Самогасящиеся счетчики широко применяются для регистрации различного рода частиц. При этом эффективность регистрации, т.е. отношение числа зарегистрированных частиц к числу частиц, попавших в объем счетчика, сильно зависит от природы регистрируемого излучения. Для развития разряда в счетчике достаточно образования одной пары ионов. Если заряженная частица создает в среднем n_i пар ионов, то вероятность не создать ни одной пары ионов в счетчике равна (по закону Пуассона) e^{-n_i} и, следовательно, эффективность регистрации частиц равна:

$$\eta = 1 - e^{-n_i}$$

Т.о. любая заряженная частица, попавшая в рабочий объем счетчика и создавшая в нем число пар $n_i \gg 1$, будет заре-

гистрирована с вероятностью, близкой к единице, т.е. эффективность близка к ста процентам.

Эффективность регистрации счетчиком релятивистских заряженных частиц можно определить экспериментально, поместив исследуемый счетчик между двумя другими счетчиками так, чтобы оси всех счетчиков были параллельны и находились на одной плоскости (рис.3). Очевидно, что любая частица, прошедшая через счетчики 1 и 3, обязательно пройдет и через счетчик 2. Такая установка из нескольких счетчиков, включенных в соответствующую схему совпадений, которая позволяет отбирать частицы в заданном телесном угле ω , называется телескопом счетчиков.

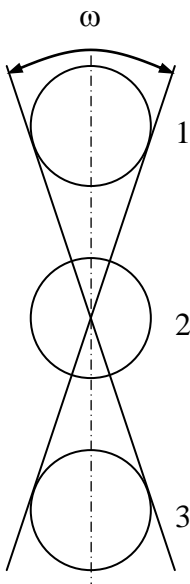


Рис.3. К определению эффективности регистрации счетчиком космических заряженных частиц

Тогда эффективность среднего счетчика можно определить как отношение числа частиц, зарегистрированных в счетчике (тройные совпадения), к числу частиц, прошедших через него (двойные совпадения). Очевидно, что число тройных совпадений $N_{123}=N\eta_1\eta_2\eta_3$, а число двойных совпадений - $N_{13}=N\eta_1\eta_3$, где η_1, η_2, η_3 – эффективность регистрации частиц соответственно счетчиком 1, 2, 3; N – число частиц, прошедших через телескоп, при условии, что эффективность схемы совпадений равна 100%. Отсюда:

$$\eta_2 = \frac{N_{123}}{N_{13}}.$$

Помимо истинных совпадений, вызванных регистрацией одной и той же частицы, возможны и случайные совпадения, вызванные регистрацией двух или трех независимых частиц, попавших в счетчики за время, меньшее, чем время разрешения схемы совпадений. Число двойных случайных совпадений, имеющих место за время измерения t , определяется по формуле: $N_{\text{случ}}=2\tau n_{1\text{ф}}n_{3\text{ф}}t$, где $n_{1\text{ф}}$ – скорость счета фона в счетчике 1; $n_{3\text{ф}}$ – скорость счета фона в счетчике 3; τ – время разрешения схемы совпадений. Вероятность тройных случайных совпадений много меньше, чем двойных, поэтому при малой интенсивности фона вероятностью тройных совпадений можно пренебречь.

Регистрация незаряженных частиц происходит по вторичным заряженным частицам, возникающим вследствие взаимодействия незаряженных первичных частиц с рабочим веществом детектора. Так, например, при взаимодействии гамма-кванта с рабочим веществом детектора (в основном с веществом катода) появляется заряженная частица – электрон (либо фотоэлектрон, либо комптон-электрон, либо электрон-

но-позитронная пара), который, попадая в рабочий объем детектора, заполненный газом, производит там ионизацию.

Очевидно, что вероятность появления свободного электрона и его попадание в рабочий объем счетчика зависят от толщины и материала катода, энергии гамма-квантов. Поэтому в отличие от эффективности регистрации заряженных частиц эффективность регистрации гамма-квантов в диапазоне энергий $\varepsilon_\gamma \sim 0,1 - 3$ МэВ составляет всего от нескольких десятых до единиц процентов.

КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

При подготовке к лабораторной работе выполнить следующие задания.

1. Нарисовать счетную характеристику счетчика Гейгера-Мюллера и объяснить физические причины ее поведения на различных участках.

2. Вывести формулу для расчета статистической ошибки времени разрешения τ_p счетчика Гейгера-Мюллера (п.4.3 рабочего задания).

3. Вывести формулу для расчета ошибки эффективности регистрации космических заряженных частиц η_2 (п.5 рабочего задания), учитывая зависимость между собой числа тройных N_{123} и двойных N_{13} совпадений, и таким образом неприменимость для расчета формулы переноса ошибок измерений (см. приложение к лабораторной работе «Введение в методику ядерно-физического эксперимента»).

ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА

В работе исследуются параметры трех стандартных самогасящихся счетчиков типа МС-6. Счетчики имеют цилиндрическую форму: катод – тонкий слой меди, нанесенный на внутреннюю поверхность стеклянного баллона; анод – тонкая

металлическая нить, натянутая по оси цилиндра. Радиус катода – 1 см, радиус анода – 100 мкм. Длина счетчика – двадцать пять сантиметров. Счетчик наполнен смесью аргона (90%) и паров сложного органического соединения (10%) до давления $7,3 \cdot 10^3$ Па.

Функциональная схема лабораторной установки для исследования счетных характеристик и временных параметров счетчиков Гейгера-Мюллера приведена на рис.4. Высокое напряжение (отрицательной полярности) подается на катоды счетчиков (C_1 , C_2 , C_3) от стабилизированного выпрямителя БНВ2-09. Импульсы напряжения с анода одного из счетчиков через эмиттерный повторитель (ЭП) (входное сопротивление $R = 10^6$ Ом) и формирователь (Ф) поступают на счетный прибор СП-1 (тип ПСО20-еМ). К выходу эмиттерного повторителя подключен осциллограф С1-49.

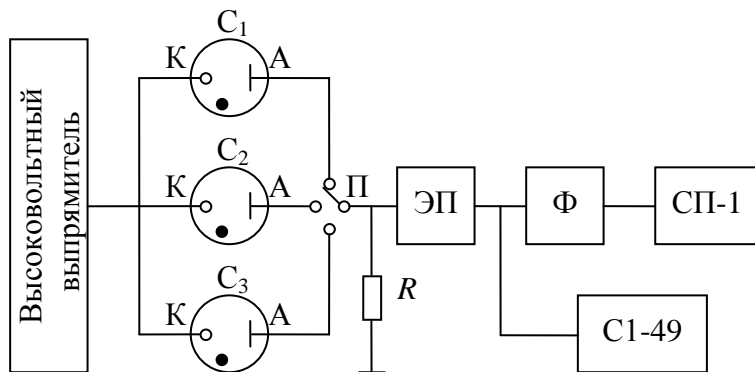


Рис.4. Функциональная схема установки для измерения характеристик счетчика Гейгера-Мюллера

Для определения эффективности регистрации космических частиц применяется телескоп из трех самогасящихся счетчиков Гейгера-Мюллера (рис.5).

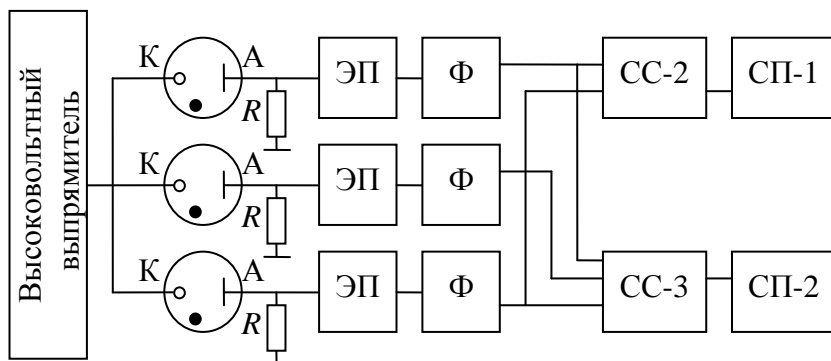


Рис.5. Функциональная схема установки для измерения эффективности регистрации счетчиком космических заряженных частиц

Импульсы от счетчиков после эмиттерных повторителей (ЭП) и формирователей (Ф) поступают на схемы двойных (СС-2) и тройных (СС-3) совпадений. Число двойных совпадений регистрируются счетным прибором СП-1, тройных – СП-2 (тип ПСО2-2еМ).

Телескоп состоит из трех счетчиков Гейгера-Мюллера, блока высоковольтного питания БНВ2-09, электронных схем, блока питания электронных схем БН-101-1 и двух держателей для источников гамма-квантов, размещенных в одном корпусе. На передней панели блока электронных схем расположен переключатель «С₁, С₂, С₃, Совпадения». При положениях переключателя «С₁, С₂, С₃» один из счетчиков подключается

к схеме, изображенной на рис.4. В положении переключателя «Совпадения» реализуется схема телескопа (см. рис.5).

РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Показать преподавателю результаты, полученные при выполнении контрольного задания, и, ответив на дополнительные вопросы, приступить к измерениям.

Перед включением приборов в сеть обязательно проверить, что напряжение, подаваемое на электроды счетчика Гейгера-Мюллера, меньше 700 В. Напряжение меняется вращением прозрачного диска ручки регулировки «Напряжение, вольт» на передней панели блока питания БНВ2-09. Цифра в «окошке» указывает сотни вольт, цифра на круговой шкале, установленная против красной черты, - десятки вольт.

Включить все приборы в сеть. Инструкции по эксплуатации электронных приборов изложены в отдельном описании.

1. Снятие счетной характеристики

Для снятия счетной характеристики необходимо: установить источник гамма-квантов (^{60}Co) в один из держателей источников. Подключить с помощью переключателя «С₁, С₂, С₃, Совпадения» любой из трех счетчиков к регистрирующей схеме (см. рис.4).

Установить на счетном приборе СП-1 время экспозиции 1000 с и включить пуск счетного прибора. Постепенно повышая напряжение на электродах счетчика, выбранного для исследования, определить напряжение, соответствующее $U_{\text{зак}}$, т.е. определить начало счета.

Изменяя напряжение через 20-25 В от значения $U_{\text{зак}}$, снять зависимость числа импульсов N от напряжения U_0 . Рекомендованный диапазон изменения напряжения – от $U_{\text{зак}}$ до

950 В (но не более 950 В, иначе счетчик может выйти из строя).

Время измерения t выбрать таким, чтобы статистические флуктуации в числе импульсов на «плато» ($\delta = 1/\sqrt{N}$) не превышали 3%. Выбрав время измерения, изменить, если это нужно, время экспозиции на приборе СП-1.

При снятии счетной характеристики, т.е. зависимости $n = N/t = f(U_0)$, следует обратить внимание на скорость счета импульсов при приближении к значению U_k (см.рис.1). По типовым характеристикам счетчика наибольший допускаемый наклон «плато» - 0,1% на 1 В изменения напряжения. Скорость счета импульсов в конце «плато» не должна отличаться от скорости счета импульсов в начале «плато» больше, чем на 10% (для «плато» протяженностью 100В). Если это условие не выполняется, то измерения следует прекратить и напряжение снизить, так как дальнейшее напряжение может привести к возникновению непрерывного газового разряда. При этом газовая смесь, наполняющая счетчик, вследствие диссоциации большого количества молекул примесного газа потеряет «гасящие» свойства.

Если скорость счета при повышении напряжения остается на одинаковом уровне, то измерения рекомендуется прекратить при напряжении 950 В.

Проанализировав полученные результаты, выбрать рабочее напряжение счетчика $U_{\text{раб}}$ (примерно в середине плато счетной характеристики).

2. Выбор рабочего напряжения для работы счетчиков в схеме совпадений

Для того чтобы выбрать рабочее напряжение для всех трех счетчиков, необходимо для двух других самогасящихся счетчиков определить сначала потенциал зажигания, а затем протяженность и наклон «плато».

Анализируя полученные данные (счетные характеристики всех трех счетчиков), определить общее рабочее напряжение этих счетчиков для дальнейшей работы их в схеме телескопа.

3. Зависимость амплитуды импульса напряжения от величины напряжения на электродах самогасящегося счетчика

Измерения провести на втором счетчике.

Установить источник гамма-квантов в гнездо держателя. С помощью осциллографа провести оценку амплитуд импульсов для нескольких значений напряжения, произвольно выбранных в области «плато» счетчика. Метод измерения амплитуд импульсов осциллографом С1-49 приведен в соответствующей инструкции по эксплуатации приборов.

4. Исследование временных параметров счетчика

4.1 Измерение мертвого времени и времени восстановления с помощью осциллографа С1-49

Поместить в держатели два источника гамма-квантов. Подключить к регистрирующей схеме второй счетчик и подать на него рабочее напряжение $U_{\text{раб}}$. Установить длительность развертки осциллографа – 50 мкс/дел., чувствительность («усиление») – 1-3 В/дел. Меняя «уровень» развертки и «стабильность», добиться осциллограммы, аналогичной рис.2.

Провести с помощью осциллографа оценку времени восстановления и мертвого времени так, как это показано на рис.2.

Для проведения оценки времени разрешения счетчика с помощью осциллографа необходимо определить порог сраба-

тивания электронного счетного устройства (в нашем случае – формирователя, см.рис.4).

4.2 Оценка порога срабатывания формирователя

Оставить подключенным к регистрирующей схеме второй счетчик. Установить на СП-1 время экспозиции 1000с. Нажать «Пуск» счетного прибора СП-1. Подать на электроды счетчика напряжение, равное потенциалу зажигания $U_{\text{зж}}$. Меняя напряжение на счетчике через 1 – 5 В от значения $U_{\text{зж}}$, измерить с помощью осциллографа амплитуду импульса в тот момент, когда начинается регистрация импульсов счетным прибором СП-1. Эта величина и будет соответствовать порогу срабатывания формирователя (в вольтах). Сравнивая амплитуду импульсов напряжения от счетчика, полученную в п.3, и порог срабатывания формирователя, сделать вывод о соотношении величин τ_m и τ_p (см. рис.2).

4.3 Определение времени разрешения счетчика методом двух источников

Если при облучении одним источником в счетчик за одну секунду попадает n_{01} частиц, а при облучении другим источником – n_{02} , то при одновременном облучении двумя этими источниками число частиц в счетчике за одну секунду будет $n_{012} = n_{01} + n_{02}$. Из-за конечного времени разрешения счетчика τ_p происходит просчет частиц, поэтому для скоростей счета n можно записать соотношение: $n_1 + n_2 > n_{12}$. При малых нагрузках (величина τ_p остается постоянной, не зависящей от загрузки) среднее число частиц от i -го источника, несосчитанных счетчиком, равно $n \tau_p n_{0i}$. Используя это соотношение, можно записать:

$$n_{01} = n_1(1 + n_{01} \tau_p);$$

$$n_{02} = n_2(1 + n_{02} \tau_p);$$

$$n_{021} = n_{12}(1 + n_{012} \tau_p);$$

и тогда

$$\frac{n_1}{1 - \tau_p n_1} + \frac{n_2}{1 - \tau_p n_2} = \frac{n_{12}}{1 - \tau_p n_{12}}.$$

Решение этого уравнения приводит к квадратичной зависимости величины τ_p от скоростей счета n_1 , n_2 , n_{12} . Однако поскольку просчеты малы, то при разложении получающейся функции в ряд Тейлора можно ограничиться первым членом и тогда приближенное решение имеет вид:

$$\tau_p = \frac{n_1 + n_2 - n_{12}}{2n_1 n_2}.$$

При наличии постороннего фона в счетчике из числителя этого выражения следует вычесть n_ϕ :

$$\tau_p = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_\phi}{2n_1 n_2}.$$

Измерения рекомендуется проводить в такой последовательности. Подключить к регистрирующей схеме второй счетчик (см.рис.4). Удалить по возможности все радиоактивные источники и тщательно измерить скорость счета фона n_ϕ . Поместить в держатель один из источников гамма-квантов. Измерить скорость счета от первого источника n_1 . Время измерения рекомендуется выбрать так, чтобы относительная

статистическая ошибка в числе импульсов от одного источника не превышала 0,5%. Не меняя положения первого источника, поместить в держатель второй источник. Измерить скорость счета от двух источников n_{12} .

Не меняя положения второго источника, удалить первый источник и измерить скорость счета от второго источника n_2 . Убрать второй источник. Проведя повторные измерения скорости счета фона $n_{\text{ф}}$, убедиться в том, что за время измерения фоновые условия облучения счетчика не изменились.

Рассчитать время разрешения счетчика τ_p .

5. Оценка эффективности регистрации космических заряженных частиц

Для определения эффективности регистрации счетчиком космических частиц (вторичной компоненты космических частиц – релятивистских электронов, мюонов, гамма-квантов; первичной компоненты – космических быстрых протонов) используется телескоп счетчиков, показанный на рис.5. Такое подключение счетчиков обеспечивается переключателем в положении «Совпадение». Подать рабочее напряжение на все счетчики (оно было выбрано ранее). Клавиши «Управление» счетных приборов I и II поставить в положение «Внешнее». Нажать «Пуск» на счетном приборе ПСО2-2eM (СП-2), при этом оба счетных прибора включаются одновременно. В течение 30 мин. провести измерения, после истечения выбранного времени измерения нажать «Стоп» счетного прибора (СП-2) и зафиксировать полученный результат.

Для определения числа двойных случайных совпадений следует воспользоваться данными, полученными в предыдущем задании при измерении скорости счета фона.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Построить счетные характеристики трех счетчиков Гейгера-Мюллера, отложить на графиках ошибки результатов измерений.

2. Вычислить время разрешения второго счетчика τ_p , оценить статистическую ошибку этого результата.

Сравнить полученную величину с величинами τ_m и τ_p , измеренными с помощью осциллографа.

3. Вычислить эффективность регистрации η_2 вторым счетчиком космических частиц. При вычислении η_2 сделать поправку на число двойных случайных совпадений, имеющих место за время измерения. Расчет производится по формуле:

$$N_{\text{случ}} = 2n_{1\phi}n_{3\phi}\tau t,$$

где τ - время разрешения схемы совпадения, равное $5 \cdot 10^{-5}$ с; $n_{1\phi}$, $n_{3\phi}$ - число космических частиц, сосчитанных каждым счетчиком 1 и 3 в отдельности за 1 с; t - время измерения числа истинных совпадений (в секундах).

Оценить теоретическое значение эффективности и сравнить его с экспериментально полученным. Оценку величины

$n_{\text{и}}$ провести по формуле: $n_{\text{и}} = v_0 l \frac{p}{p_0}$, где $v_0 = 30$ пар ионов на

1 см пути частицы в газе при нормальном давлении p_0 ; $p = 7,3 \cdot 10^3$ Па; $l = 2$ см.

Счетчик наполнен газовой смесью: 90% аргона и 10% паров газа, представляющего собой сложное органическое соединение.

Контрольные вопросы и задания

1. Какой метод регистрации положен в основу изучаемого детектора?
2. Обладает ли счетчик Гейгера-Мюллера свойством пропорциональности?
3. Какими физическими процессами определяются временные характеристики счетчика Гейгера-Мюллера?
4. Обосновать порядки величин эффективности регистрации счетчиком Гейгера-Мюллера заряженных частиц и гамма-квантов?

Список литературы

1. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. Ляпидевский В.К. Методы детектирования излучений. М.: Энергоатомиздат, 1987.