

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 61

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНОГО СЧЕТЧИКА ЧАСТИЦ

1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с устройством, принципом действия счетчика Гейгера-Мюллера, снятие его характеристики, по которой надо выбрать рабочее напряжение и определить наклон плато Гейгера.

2. Краткая теория

2.1. Элементарные сведения

Радиометрические приборы предназначены для регистрации и изучения α -, β - и γ -излучений, испускаемых горными породами космического излучения, процессов поглощения излучений при прохождении через вещество и т. д. Подобные приборы широко применяются для поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, в системах автоматизации производственных процессов и устройствах радиационной защиты. Радиометры применяются для измерения естественной радиоактивности горных пород.

Радиометрический прибор состоит из детектора излучения, преобразующего энергию излучения в электрические сигналы, и электронной схемы, обеспечивающей измерение этих сигналов.

Применяются детекторы двух типов:

- сцинтилляционные, в которых энергия частицы преобразуется в видимый свет, а последний - в электрический сигнал с помощью фотодатчика;

- газоразрядные счетчики Гейгера-Мюллера, в которых для регистрации β -частиц и γ -квантов используется явление ионизации.

Счетчик может использоваться для счета фотонов космических лучей, а также частиц, излучаемых радиоактивным препаратом, помещенным вблизи корпуса прибора. В данной работе с помощью счетчика изучается естественный радиоактивный фон, создаваемый космическими лучами и естественными радиоактивными элементами, рассеянными в окружающей среде.

Счетчик представляет собой цилиндрический конденсатор, внутренним электродом которого является тонкая металлическая нить (анод), внешним электродом (катодом) служит металлический цилиндр (рис. 1). Межэлектродное пространство заполняется инертным газом (обычно аргоном) под небольшим давлением.

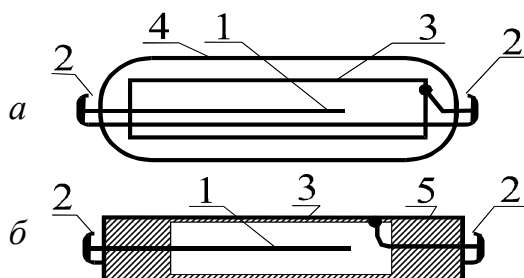


Рис. 1. Конструкции газоразрядных счетчиков:
a - в стеклянном корпусе;
б - в металлическом корпусе:
 1 - анод; 2 - контакты; 3 - катод;
 4 - стеклянный баллон;
 5 - изоляционное уплотнение

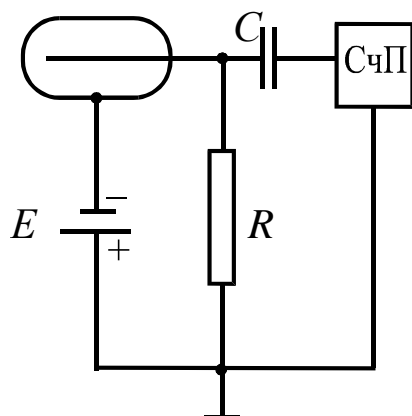


Рис. 2. Принципиальная схема включения счетчика

На рис. 2 приведена принципиальная схема включения счетчика. На катод от источника напряжения E подается отрицательный потенциал порядка $300 \div 400$ В, положительный полюс источника через сопротивление R подключен к аноду.

Попадающая внутрь счетчика частица вызывает ионизацию газа. При наличии достаточного напряжения между электродами возникает разряд, т. е. в цепи протекает импульс тока. Гашение разряда осуществляется путем добавления к инертному газу многоатомных соединений (например, паров спирта). Счетчики с таким заполнением называются самогасящимися. Импульс напряжения, возникающий на сопротивлении R , через конденсатор C передается на вход счетного прибора СчП, который осуществляет подсчет числа импульсов, а значит, и частиц.

2.2. Механизм протекания газового разряда. Виды разряда

Газы при нормальных условиях являются хорошими изоляторами, так как состоят из нейтральных молекул и практически не содержат свободных зарядов (электронов и ионов). Газ становится проводником электричества, когда некоторая часть его молекул ионизируется, т. е. расщепляется на ионы и свободные электроны. Электроны могут присоединяться к нейтральным молекулам, превращая их в отрицательные ионы. Следовательно, в ионизированном газе имеются положительные, отрицательные ионы и свободные электроны. Прохождение электрического тока через газы называется *газовым разрядом*.

Ионизация газов происходит при нагревании, воздействии коротковолнового электромагнитного излучения (рентгеновского или γ -излучения) или корпускулярного излучения (α -, β -излучений).

Рассмотрим цепь, содержащую газовый промежуток ГП (рис. 3), подвергающийся непрерывному постоянному воздействию ионизирующего излучения ИИ. Газ в промежутке приобретает некоторую электропроводность, и в цепи потечет ток, зависимость которого от приложенного напряжения показана на рис. 4.

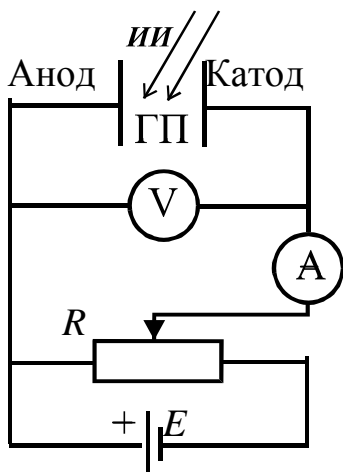


Рис. 3. Электрическая цепь с газовым промежутком

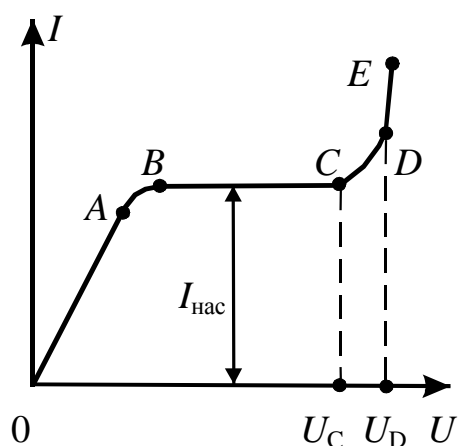


Рис. 4. Вольтамперная характеристика газового разряда

На участке OA ток возрастает пропорционально напряжению (увеличивается число электронов и ионов, достигших электродов), т. е. выполняется закон Ома.

Затем рост силы тока замедляется (участок AB) и прекращается совсем (участок BC). Это происходит, когда все ионы и электроны, создаваемые ионизирующим излучением в единицу времени, достигают электродов за это же время. В результате ток насыщения $I_{\text{нас}}$ является мерой ионизирующего действия излучения: чем больше мощность излучения, тем больше ток насыщения.

При не очень большом напряжении между электродами ($U < U_C$) ток в цепи обусловлен только ионами и электронами, возникающими за счет внешнего источника ионизации. Этот ток очень мал по величине и прекращается сразу же после окончания действия внешнего источника ионизации. Такой разряд называется *несамостоятельным*. На механизме самостоятельного газового разряда основана работа ионизационных камер.

При дальнейшем увеличении напряжения ($U > U_C$), возникающие под действием ионизирующего излучения электроны, сильно ускоренные электрическим полем, сталкиваясь с нейтральными молекулами газа, ионизируют их, в результате чего образуются вторичные электроны и положительно заряженные ионы. Эти ионы движутся к катоду, а электроны - к аноду, ионизируя на своем пути молекулы газа. Следовательно, общее количество электронов и ионов будет возрастать по мере продвижения электронов к аноду лавинообразно. Описанный процесс называется *ударной ионизацией* и служит причиной увеличения тока на участке CD (см. рис. 4).

Кроме этого действует еще ряд процессов, приводящих к возникновению электронных лавин. На рис. 5 схематично показаны эти процессы:

1 - первичные электроны ионизируют нейтральные молекулы, при этом возникают вторичные электроны и положительные ионы;

2 - ускоренные полем положительные ионы, ударяясь о катод, выбивают из него электроны;

3 - положительные ионы, сталкиваясь с молекулами газа, переводят их в возбужденное состояние, а при переходе в нормальное состояние испускается фотон;

4 - фотон с высокой энергией может ионизировать нейтральную молекулу;

5 - выбивание электронов из катода под действием фотонов;

6 - положительные ионы ионизируют нейтральные молекулы.

Последний процесс возникает при напряжении $U > U_D$, когда по-

ложительные ионы приобретают энергию, достаточную для ионизации молекул газа, и к катоду устремляются ионные лавины. При этом ток растет уже практически без увеличения напряжения (самостоятельный разряд, участок DE на рис. 4). Напряжение U_D , при котором возникает самостоятельный разряд, называется *напряжением пробоя*. Число электронов и ионов при этом лавинообразно возрастает.

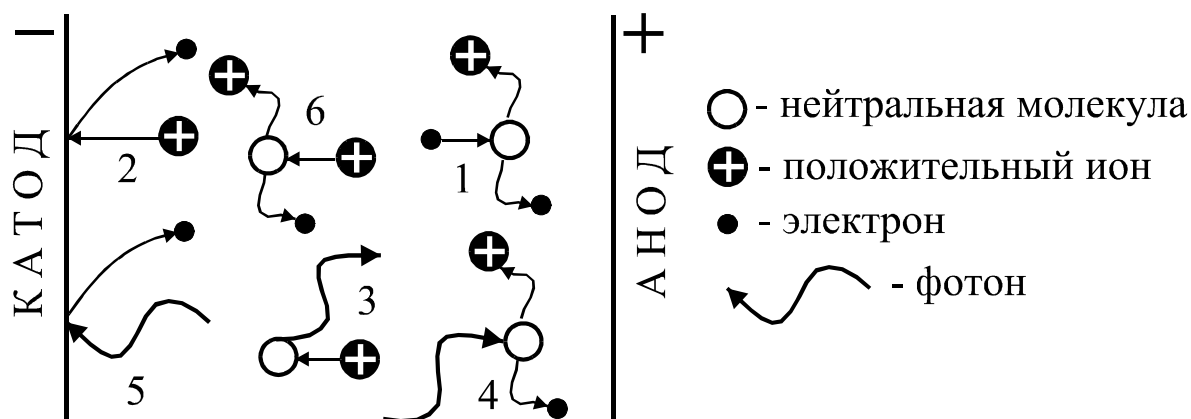


Рис. 5. Процессы, приводящие к усилению газового разряда

2.3. Физические процессы в счетчике Гейгера-Мюллера

В зависимости от характера используемого разряда счетчики делятся на *пропорциональные* и счетчики с *самостоятельным разрядом* (счетчики Гейгера-Мюллера).

В пропорциональных счетчиках для усиления ионизации используется полусамостоятельный разряд, наблюдающийся в переходной области от тока насыщения к самостоятельному разряду (участок CD на рис. 4). Свободные электроны, возникающие между электродами, в результате воздействия ионизирующей частицы при движении в электрическом поле приобретают энергию, достаточную для ионизации ударом. Усиление ионизационного тока в указанных пределах напряжения может быть использовано для регистрации частиц разной ионизирующей способности. Так как такие частицы, попадая в прибор, образуют неодинаковое число пар ионов, импульс тока, отмечаемый счетчиком, оказывается пропорциональным величине начальной ионизации и, соответственно, энергии частицы.

Если постепенно увеличивать напряжение на электродах пропорционального счетчика, то при напряжении U_D произойдет пробой разрядного промежутка, т. е. вспыхнет самостоятельный разряд. Счетчик с самостоятельным разрядом характеризуется тем, что величина импульса тока не зависит от первоначальной ионизации. Попадающая в счетчик частица в этом случае как бы "спускает курок", следствием чего является почти мгновенный импульс тока самостоятельного разряда. Работа счетчика Гейгера-Мюллера основана на механизме самостоятельного разряда.

Для того, чтобы получать от отдельных частиц отдельные импульсы, необходимо возникший разряд быстро прервать (погасить). В зависимости от того, каким способом осуществляется гашение разряда, счетчики бывают *самогасящиеся и несамогасящиеся*.

Рассмотрим механизм разряда в трубке самогасящегося счетчика. При попадании частицы в нее происходит ионизация газа (образование электронов и положительных ионов). Электроны под действием поля начинают двигаться к нити (аноду). Вдали от нити энергия, приобретаемая электроном в конце свободного пробега, недостаточна для того, чтобы вызвать ионизацию ударом, поэтому здесь происходит только возбуждение молекул газа. Вблизи нити градиент потенциала резко возрастает, и, соответственно, возрастает энергия, приобретаемая электроном. Поэтому, начиная с некоторого расстояния от нити, возможны ионизация ударом и образование электронных и ионных лавин. Возникшие лавины электронов, благодаря большой подвижности, быстро устремляются к нити, в то время как положительные ионы, будучи малоподвижными, образуют вокруг нити "чехол", который относительно медленно перемещается по радиусам к цилиндрическому катоду. Эти ионы создают положительный пространственный заряд, ослабляющий поле вблизи нити, вследствие чего разряд прекращается. Для подавления дополнительных процессов, препятствующих гашению разряда (см. рис. 5), к газу, заполняющему счетчик, добавляется примесь многоатомного органического газа (например, спирта). Гасящее действие многоатомного газа основано на том, что возбужденные каким-либо способом молекулы спирта распадаются на нейтральные атомные группы. При этом не излучается энергия в виде квантов света, которые вызывали бы ионизацию газа и появление дополнительных электронных лавин.

Стекая с нити во внешнюю цепь, электроны вызывают в ней им-

пульс тока длительностью около 5 мкс. Вследствие стекания электронов и перемещения чехла положительных ионов, поле в трубке и потенциал нити постепенно восстанавливаются, и, приблизительно через 200 мкс, счетчик готов к регистрации следующей частицы.

Рассмотрим теперь механизм гашения разряда, точнее, механизм предупреждения новой вспышки самостоятельного разряда вслед за окончанием первоначального. Продолжение разряда в виде новой вспышки могло бы иметь место одновременно с восстановлением потенциала нити за счет электронной эмиссии на катоде, вызываемой фотонами или положительными ионами (см. рис. 5). Появляющиеся при этом свободные электроны могли бы снова "спускать курок", и разряд в виде импульсов мог бы происходить непрерывно. Это не происходит благодаря добавлению паров спирта. Поглощение фотонов молекулами спирта протекает настолько интенсивно, что фотоны, образовавшиеся при разряде, практически не попадают на катод. Свободные электроны могут появляться у катода также при нейтрализации положительных ионов, достигающих катода, поскольку при попадании иона на катод образуется нейтральный, но возбужденный атом, который за счет энергии возбуждения может вырвать электрон из катода. Однако ионы аргона не достигают катода, они во время перемещения успевают нейтрализоваться, отбирая электроны у молекул спирта, так как потенциал ионизации молекул спирта меньше соответствующего потенциала аргона. Ионы спирта, приближаясь к катоду, нейтрализуются и превращаются в возбужденные молекулы, которые диссоциируют и не выбивают из катода свободных электронов.

Статистический характер этих процессов допускает отдельные ложные, или самопроизвольные, разряды, не связанные с прохождением через счетчик ионизирующих частиц. Качество счетчика зависит от числа таких ложных импульсов, для выявления которых снимают счетную характеристику, представляющую собой зависимость числа импульсов N , регистрируемых в единицу времени, от напряжения U на счетчике. Примерный ее вид показан на рис. 6.

При $U < U_1$ напряжение недостаточно для обеспечения разряда при попадании на счетчик β -частицы или γ -кванта, поэтому $N = 0$. Когда $U_1 < U < U_2$, только отдельные частицы могут вызвать разряд, причем с увеличением U вероятность разряда возрастает. При $U_2 < U < U_3$ каждая частица вызывает разряд в счетчике. Эта

область называется плато Гейгера, посредине которого обычно выбирается рабочее напряжение U_p на счетчике. При $U > U_3$ начинается электрический пробой счетчика, при котором ионизация газа происходит только за счет электрического поля между катодом и анодом, и эксплуатировать его в таких условиях нельзя.

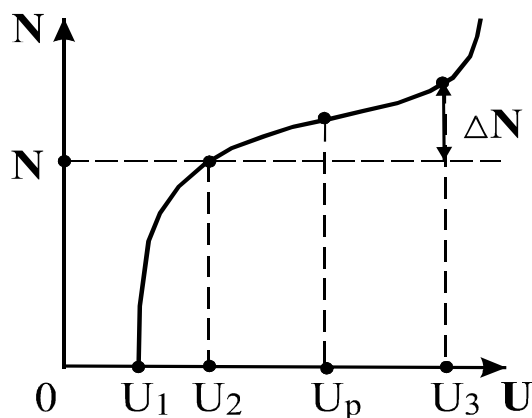


Рис. 6. Счетная характеристика

3. Выполнение работы

3.1. Функциональная схема лабораторной установки

Схема лабораторной установки для исследования характеристик счетчика Гейгера-Мюллера приведена на рис. 7. Напряжение на счетчик подается с регулируемого источника постоянного напряжения РИПН. Регулировка напряжения осуществляется резистором, помещенным на передней панели блока. Подаваемое на счетчик напряжение регистрируется вольтметром V . Импульсы напряжения, возникающие на сопротивлении R при попадании на счетчик частицы, через конденсатор C подаются на усилитель-ограничитель УО, а затем на пересчетный прибор ПСО2-4, который производит подсчет импульсов за заданный интервал времени.

3.2. Включение приборов

Подключите кабелями блок питания и пересчетный прибор к сети

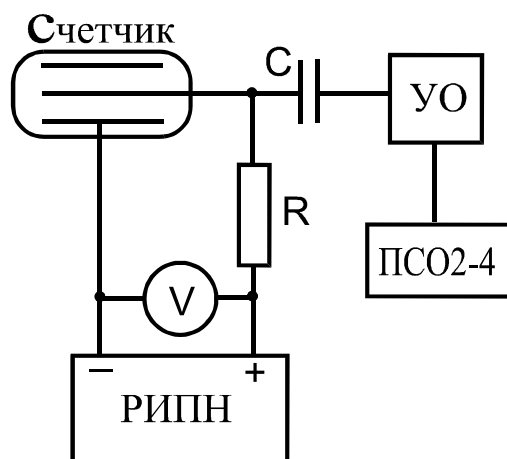


Рис. 7. Функциональная схема лабораторной установки

переменного тока 220 В, нажмите клавишу "сеть", при этом загорится цифровая индикация прибора ПСО2-4. При нажатии клавиши "сброс" на табло индикации возникает нулевое показание.

Проведите проверку функционирования прибора ПСО2-4 с помощью встроенной системы контроля в следующем порядке:

- нажмите клавишу "вывод", установив ее в положение "однократно" и клавишу "проверка";
- установите переключатель $N-T$ в положение N , а переключатель "экспозиция $T /S/$ - число импульсов $\times 100$ " в положение 1 с, нажав клавишу 1;
- установите переключатель "генератор" в положение "внутренний", а переключатель "управление" - в положение "автоматическое", при этом обе клавиши должны быть отжаты;
- поставьте переключатель " П , + " в положение " П ", нажав клавишу;
- нажмите клавишу "пуск", при этом счет автоматически остановится через 1 с, а индикация счетчика наберет число импульсов $N = 100$, затем нажмите клавишу "сброс".

Проведите аналогичные замеры при положениях переключателя $T /S/$ 10 и 100, проверьте соответствующие показатели индикатора, указанные в табл. 1.

В процессе работы прибора загорается лампочка индикации "счет".

Таблица 1

**Проверка показаний индикатора
при разных положениях переключателя $T/S/$**

Положение индикатора	1	10	100
Показания индикатора	100 ± 1	1000 ± 1	10000 ± 1

Отожмите клавишу "проверка", нажмите клавишу "сброс", установите время экспозиции 100 с.

Прибор ПСО2-4 подготовлен к измерениям.

Установите резистор "Рег. напряжения/тока/" на блоке питания в крайнее левое положение, соответствующее минимальному выходному напряжению. Включите тумблер "сеть" блока питания, при этом загорается сигнальная лампочка.

Плавно установите напряжение 300 В, нажмите клавишу "пуск" и определите минимальное напряжение, при котором начинается подсчет импульсов.

Так как интенсивность космических лучей испытывает случайные колебания, подсчет импульсов при данном напряжении производится не менее трех раз и берется среднее число импульсов $\langle N \rangle$.

Результаты измерений записывают в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость числа импульсов от напряжения

Напряжение U , В	Число импульсов N			$\langle N \rangle$
350				
360				
370				
380				
390				
400				

На начальном круто возрастающем участке счетной характеристики рекомендуется измерения проводить с шагом 5 В, если позволяет точность вольтметра.

Увеличивая напряжение на (10, 15, 25) В (в зависимости от цены деления прибора), провести измерения до напряжения 400 В.

По данным наблюдений постройте график зависимости числа импульсов от напряжения на счетчике, т. е. счетную характеристику (см. рис. 6). По графику определите рабочее напряжение U_p .

Наклон плато α определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\Delta N \cdot 100}{N \cdot \Delta U} \quad \%$$

где ΔN - приращение скорости счета на плато;

N - скорость счета на плато;

ΔU - приращение напряжения на плато.

По окончании работы уменьшают напряжение на счетчике до нуля и выключают приборы.

Внимание! В процессе работы запрещается снимать защитные колпачки с трубки, так как на них подается высокое напряжение.

При нажатии клавиш не надо прилагать больших усилий.

Если напряжение измеряется с помощью цифрового вольтметра, то нужно пользоваться инструкцией по его эксплуатации, находящейся на рабочем столе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ

1. Что представляет собой счетчик Гейгера-Мюллера?
2. Поясните несамостоятельный и самостоятельный газовые разряды.
3. Чем отличаются пропорциональные счетчики от счетчиков с самостоятельным разрядом?
4. Поясните образование лавины ионов в счетчике под действием одной частицы.
5. Объясните механизм самогашения счетчика.
6. Почему скорость счета при одном и том же напряжении на счетчике разная?

7. Какая часть счетной характеристики называется плато Гейгера, как находятся наклон плато и рабочее напряжение?

8. Почему при низких напряжениях на счетчике частицы не регистрируются?

9. Задача. При измерении периода полураспада короткоживущего радиоактивного вещества использовали счетчик импульсов. В течение одной минуты было зарегистрировано 250 импульсов, а спустя один час после начала измерений 92 импульса в минуту. Определите постоянную радиоактивного распада и период полураспада.

Ответ: $\lambda = 1 \text{ час}^{-1}$, $T = 0,69 \text{ час}$.

10. Задача. При помощи ионизационного счетчика исследуется активность некоторого радиоактивного изотопа. В начальный момент времени счетчик дает 75000 отсчетов за время $t = 10 \text{ с}$. Какое число отсчетов за время $t = 10 \text{ с}$ дает счетчик по истечении времени $t = T/2$? Считать $T \gg 10 \text{ с}$.

Ответ: 53000 отсчетов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волькенштейн, В. С. Сборник задач по общему курсу физики / В. С. Волькенштейн - М.: Наука, 1990. - 400 с.

Детлаф, А. А., Яворский, Б. М. Курс физики. Т. 2 / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский - М.: Высшая школа, 1989. - 607 с.

Дахнов, В. Н. К познанию недр Земли / В. Н. Дахнов - М.: Недра, 1968. - 143 с.

Савельев, И. В. Курс общей физики. Т. 2 / И. В. Савельев - М.: Наука, 1988. - 496 с.

Трофимова, Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова - М.: Высшая школа, 1994. - 541 с.