

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»
(ФГБОУ ВО ПГУПС)

Кафедра «Физика»

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЗОВОГО СЧЁТЧИКА

Методические указания
к лабораторной работе № 322

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2017

Цель работы – определение основных характеристик несамогасящегося газового счётчика Гейгера–Мюллера: рабочего напряжения и разрешающего времени.

1. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ГАЗОВОГО СЧЁТЧИКА

Среди различных устройств для регистрации ядерных излучений самым распространённым является газовый (газоразрядный) счётчик.

Газовый счётчик представляет собой цилиндрический конденсатор, заполненный инертным газом под давлением $(4 \pm 20) \cdot 10^3$ Па (рис. 1). Катодом (K) является тонкостенный металлический (алюминиевый) цилиндр диаметром порядка 1 см. Анодом (A) служит металлическая (вольфрамовая) нить, натянутая по оси цилиндра. Толщина нити составляет около десятой доли миллиметра.

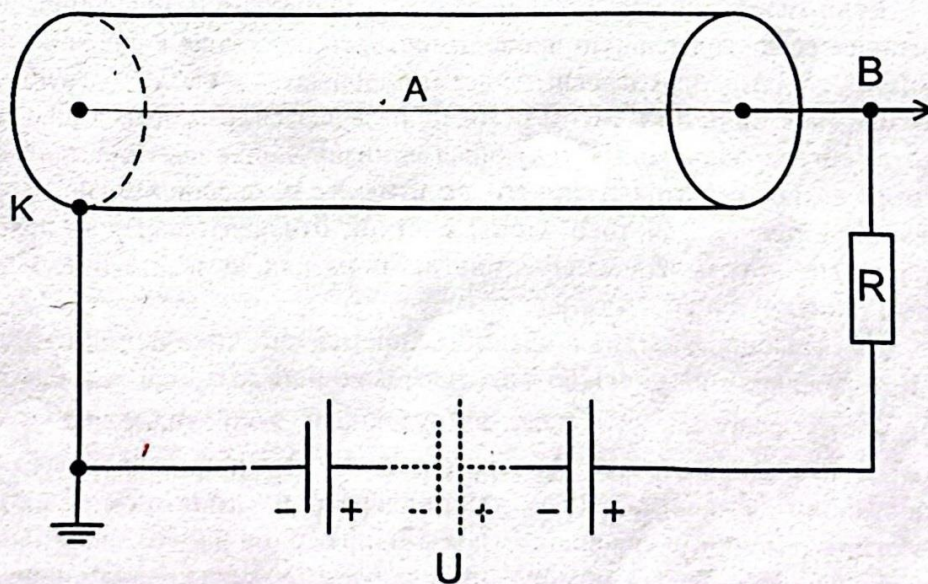


Рис. 1. Схема включения счётчика

В газовом счётчике используется явление самостоятельной проводимости газов. Если к электродам счётчика приложено достаточно большое напряжение, то попавшая в счётчик ионизирующая частица «зажигает» газовый разряд, который не прекращается после окончания действия источника ионизации. Поскольку поле в межэлектродном пространстве резко неоднородное, около тонкой нити анода наблюдается так называемый «коронный» газовый разряд.

2 Рассмотрим механизм возникновения самостоятельного газового разряда. Попавшая в счётчик частица ионизирует несколько молекул газа и таким образом создает равное количество свободных электронов и положительных ионов. Электроны, двигаясь к аноду, могут (при достаточно большой напряженности поля и длине свободного пробега) ионизировать встречные атомы. Этот процесс называется ударной ионизацией. При ударной ионизации возникают новые электроны, которые, в свою очередь, ионизируют встречные атомы, и т. д. Число электронов стремительно возрастает, и до анода доходит электронная лавина.

Кроме этого основного процесса в газовом промежутке возникают вторичные процессы: ионизация молекул газа положительными ионами, выбивание ионами электронов из катода, фотоэффект на поверхности катода, вызываемый излучением возбужденных атомов, и т. д.

2 Вторичные процессы также создают свободные электроны, каждый из которых может дать лавину, идущую к аноду. В счётчике возникает устойчивая проводимость — самостоятельный газовый разряд.

4 [Если между электродами счётчика установлено напряжение, обеспечивающее самостоятельную проводимость, то попавшая в счётчик частица инициирует разряд, который будет продолжаться сколь угодно долго. Счётчик, работающий в таком режиме, называется несамогасящимся счётчиком Гейгера-Мюллера.] Следующая ионизирующая частица, попавшая в счётчик во время разряда, ничего не изменит и, следовательно, не будет зарегистрирована. Для того чтобы счётчик отвечал своему назначению, необходимо по возможности быстро гасить разряд, вызванный попаданием в него ионизирующей частицы.

Для гашения разряда в несамогасящемся счётчике используется схема, изображенная на рисунке. Ток, протекающий во время разряда по высокоомному (порядка 10^9 Ом) нагрузочному сопротивлению R , резко снижает потенциал в точке B . Напряжение между анодом и катодом счётчика становится недостаточным для поддержания самостоятельной проводимости, и разряд прекращается. Затем напряжение на счётчике постепенно восстанавливается. Снижение и последующее восстановление потенциала точки B создает на нагрузочном сопротивлении импульс напряжения, который регистрируется электронным счётным устройством.

Частица, влетевшая в счётчик во время разряда и последующего восстановления напряжения, не создаст нового импульса. Таким образом, в течение некоторого времени после попадания в счётчик ионизирующей частицы он не регистрирует другие частицы. Время, в течение которого после прихода одной частицы счётчик остается нечувствительным к следующей, называется разрешающим временем (или мёртвым временем).

2. СЧЁТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Счётной характеристикой газоразрядного счетчика называют зависимость скорости счёта частиц n от напряжения на счётчике U (при неизменной интенсивности облучения). Примерный вид счётной характеристики представлен на рис. 2.

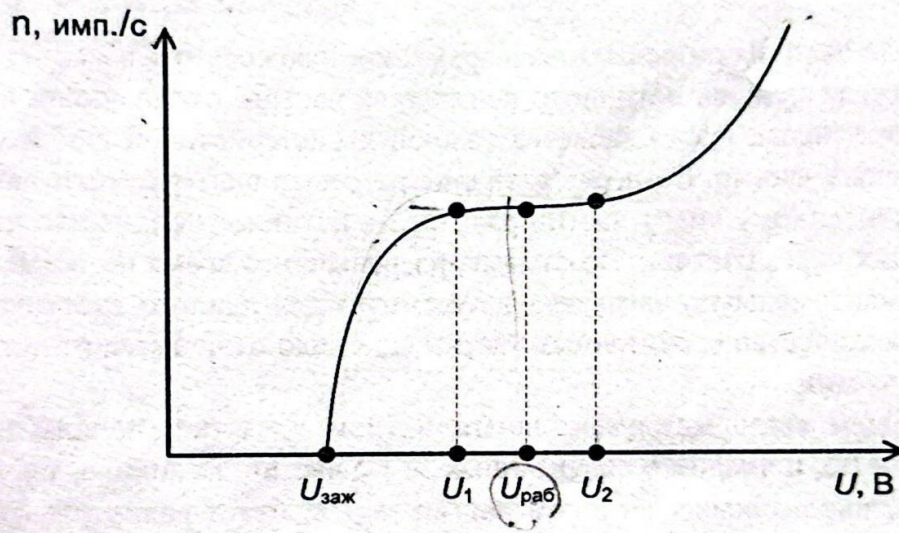


Рис. 2. Счётная характеристика газоразрядного счетчика

При напряжениях, меньших напряжения зажигания ($U < U_{зак}$), разряд в счетчике не возникает. Ток в счетчике и импульс напряжения в точке B (см. рис.1) определяются только первичной ионизацией. Амплитуда импульсов очень мала, и электронное устройство их не регистрирует. В этой области напряжений скорость счёта равна нулю. При напряжениях, незначительно больших $U_{зак}$, импульсы имеют различные амплитуды. В этом случае считаются лишь некоторые из них.

При увеличении U разброс амплитуды импульсов резко уменьшается, скорость счёта быстро растёт, и при напряжении U_1 скорость счёта практически равна числу частиц, попадающих в счётчик за единицу време-

ни. При дальнейшем увеличении U (до значения U_2) скорость счёта остается практически постоянной. На счетной характеристике наблюдается так называемое плато счетчика величиной (100 ± 200) В.

При дальнейшем возрастании напряжения скорость счёта резко увеличивается из-за большего вклада фоновых механизмов ионизации – в счётчике возникает непрерывный разряд, что может привести к порче прибора. По найденной счетной характеристике легко определить рабочее напряжение счётчика. Обычно его устанавливают посередине плато счетчика, т. е.

$$U_{\text{раб}} = \frac{U_1 + U_2}{2}. \quad (1)$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕГО ВРЕМЕНИ

Из-за наличия разрешающего времени число сосчитанных счётчиком частиц всегда меньше истинного количества частиц, попадающих в счётчик. Разрешающее время является важной характеристикой любого счётчика ядерных частиц. Во-первых, знание разрешающего времени позволяет по сосчитанному числу частиц рассчитать истинное количество частиц, прошедших через счётчик. Во-вторых, разрешающее время позволяет оценить ту максимальную загрузку, допустимую для данного счётчика, при которой количество сосчитанных частиц еще мало отличается от истинного числа частиц.

Найдем связь между истинным числом v частиц, попадающих в счётчик за 1 с, и числом n сосчитанных за 1 с частиц. Величина, т.е. число незарегистрированных счётчиком частиц за 1 с, будет равна $v - n$. Обозначим через τ разрешающее время счётчика. Так как за 1 с в счётчике возникло n разрядов, то счётчик будет находиться в нечувствительном состоянии время, равное $n\tau$. Поскольку за 1 с в счётчик попадает v частиц, то за время $n\tau$ должно попасть $v n \tau$ частиц, которые не будут зарегистрированы.

Таким образом,

откуда

число частиц, попавших за 1 с
 $v - n = n\tau$ *разр. вр.*
 $v = n(1 + \tau)$ *число зарег. частиц*
 $v = \frac{n}{1 - n\tau}$ *число сосчит. частиц.*

$$v = \frac{n}{1 - n\tau}. \quad (2)$$

Ясно, что эта формула годится только в том случае, когда среднее время $1/n$ между регистрируемыми частицами заметно больше разрешающего времени ($1/n \gg \tau$ или $n\tau \ll 1$).

Метод определения разрешающего времени τ основывается на сопоставлении совместного и раздельного действия двух источников ядерного излучения. Используемое для этой цели в данной работе устройство изображено на рис. 3.

Под цилиндрическим газовым счётчиком C расположены два алюминиевых стаканчика D_1 и D_2 , в крышках которых имеются небольшие отверстия. В центре каждого стаканчика укреплены радиоактивные препараты P_1 и P_2 . В работе используются препараты Pb^{210} , которые излучают электроны и альфа-частицы. Излучение полностью поглощается стенками стаканчиков, так что в счётчик попадает только узкий пучок, вырезаемый отверстием в каждом стаканчике. Отверстия стаканчиков могут быть перекрыты свинцовыми задвижками, которые полностью поглощают электроны и альфа-частицы.

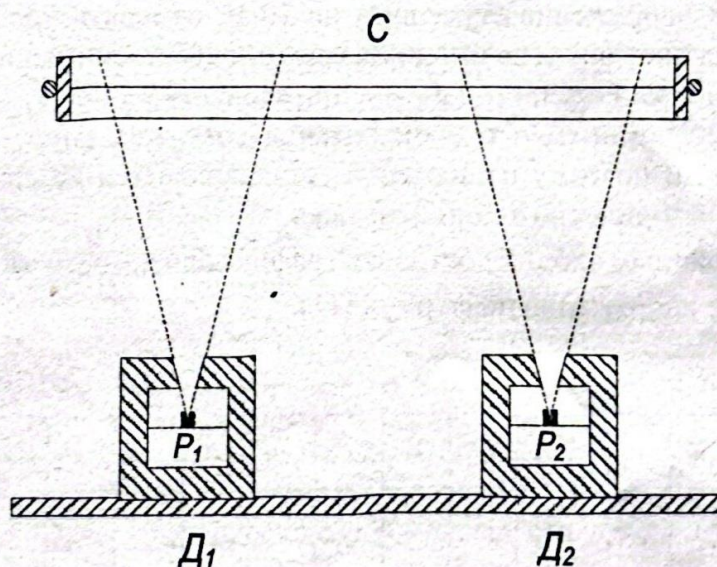


Рис. 3. Схема лабораторной установки

Пусть n_1 — число частиц, регистрируемых счётчиком за 1 с при закрытом втором источнике, n_2 — число частиц, регистрируемых счётчиком за 1 с при закрытом первом источнике, n_{12} — число частиц, регистрируемых счётчиком за 1 с при одновременном действии двух источников излучения.

С учетом фонового излучения n_{ϕ} , обусловленного космическими лучами и радиоактивным загрязнением окружающих предметов, можно получить формулу для расчета мертвого времени:

$$\tau = \frac{n_1 + n_2 - n_{12} - n_{\phi}}{2(n_1 - n_{\phi})(n_2 - n_{\phi})} \cdot \frac{1}{\Delta t} \quad (3)$$

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Перед началом работы необходимо ознакомиться с инструкцией по работе с приборами, выдаваемой лаборантом.

Для снятия счётной характеристики газового счётчика необходимо:

1. Открыть заслонку одного радиоактивного источника.
2. Медленно повышая напряжение на счетчике, найти пороговое значение, при котором обнаруживаются импульсы (момент начала счета). Затем, изменяя напряжение ступенями по 10 В, измерять число частиц N , фиксируемых счетчиком за интервал времени 200 с, снимая данные с пересчётного прибора. Результаты измерений записать в табл. 1.

Следует помнить, что блок питания содержит конденсаторы большой емкости, и поэтому напряжение устанавливается не сразу. Особенно существенно это при снижении напряжения.

3. По данным табл. 1 построить график зависимости $n(U)$ и определить рабочее напряжение по формуле (1).

Таблица 1

$U, \text{В}$	330	340	...											...
$N, \text{имп.}$														
$n, \text{имп./с}$														

Для определения разрешающего времени счётчика необходимо:

1. Установить на счетчике рабочее напряжение.
2. Определить при закрытых источниках излучения фон счетчика – $n_{\phi} = N_{\phi}/t$. Интервал времени счёта взять 200 с. Результаты измерений записать в табл. 2.

3. Определить скорость счета n_1 при открытом первом источнике (второй источник при этом закрыт).

4. Определить скорость счета n_2 при открытом втором источнике (первый источник при этом закрыт).

5. Определить скорость счета n_{12} при одновременном действии обоих источников. При выполнении п. 2–4 интервал времени счёта взять равным 50 с.

В таком же порядке снять данные ещё два раза. Результаты записать в табл. 2 и 3.

Таблица 2

№ п/п	t , с	N_ϕ , имп.	n_ϕ , имп./с	Δn_ϕ , имп./с	$(\Delta n_\phi)^2$, (имп./с) ²
1					
2					
3					

Таблица 3

№ п/п	Первый источник открыт		Второй источник открыт		Оба источника открыты	
	N_1 , имп.	n , имп./с	N_2 , имп.	n , имп./с	N_{12} , имп.	n_{12} , имп./с
1						
2						
3						

6. Для измеренных величин n_ϕ , n_1 , n_2 , n_{12} рассчитать доверительные погрешности в соответствии с правилами обработки невоспроизводимых косвенных измерений (т.е. аналогично обработке результатов прямых многократных измерений).

7. Для каждого из трех опытов рассчитать разрешающее время τ счётчика по формуле (3), затем найти среднее значение $\bar{\tau}$ и вычислить его доверительную погрешность $\Delta \bar{\tau}$ в соответствии с правилами обработки результатов невоспроизводимых косвенных измерений. При расчёте по формуле (3) надо иметь в виду, что для получения τ в секундах необходимо все скорости счёта выражать в имп./с.

8. По полученному значению τ по формуле (2) рассчитать, при какой скорости счёта число просчётов не превышает 1%.