

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

Цель работы: изучение принципа действия и устройства газоразрядных детекторов; экспериментальное определение основных характеристик детекторов с самостоятельным разрядом; определение активности источника бета-излучения.

1.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1.1. Устройство и принцип действия газоразрядных детекторов.

Газоразрядные детекторы, как правило, представляют собой цилиндр, по оси которого в виде тонкой металлической нити расположен анод. Детектор заполняется смесью инертных и многоатомных газов. При обычных условиях проводимость газов мала, и они, по существу, являются изоляторами. При воздействии излучения происходит первичная ионизация газа, благодаря чему его проводимость резко возрастает и в детекторе происходит газовый разряд. Газоразрядные детекторы отличаются друг от друга принципом усиления первичного сигнала, составом и давлением газа, формой и конструкцией. В зависимости от характера разряда детекторы подразделяются на детекторы с несамостоятельным, коронным и искровым разрядами.

Схема включения газоразрядного детектора приведена на рис. 1.1.

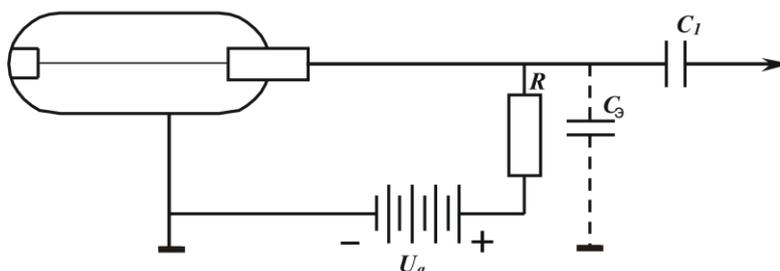


Рис. 1.1. Схема включения газоразрядного детектора

Основную роль в процессе разряда в детекторе играет величина разности потенциалов U_a , устанавливаемая между анодом и катодом. В частности, от ее величины зависит кинетическая энергия электронов, принимающих участие в разряде. Электрон на пути между двумя соударениями приобретает в среднем кинетическую энергию, равную $\sim e\mathcal{E}\lambda$, где e — заряд электрона; \mathcal{E} — напряженность электрического поля; λ — средняя длина свободного пробега электрона. Если диаметр нити равен r_a , диаметр цилиндра — r_k , то напряженность электрического поля на расстоянии r от оси счетчика:

$$\mathcal{E} = \frac{U_a}{r \cdot \ln r_k / r_a} \quad [B \cdot cm^{-1}] \quad (1.1)$$

Поэтому значение кинетической энергии, приобретаемой электроном между столкновениями с молекулами газа, пропорционально разности потенциалов U_a и, кроме того, энергия электронов возрастает с уменьшением r , т.е. по мере приближения электрона к аноду.

Если на счетчик подана небольшая разность потенциалов, то он действует как импульсная ионизационная камера. Образовавшиеся в результате первичной ионизации электроны, за исключением тех, которые по пути рекомбинируют, дости-

гают анода и изменяют его заряд на величину $\Delta q = en_0$ где n_0 - число электронов, пришедших на анод. Поскольку счетчик обладает эквивалентной емкостью C_3 , то потенциал нити изменится на величину

$$\Delta V = \frac{\Delta q}{C_3} = \frac{en_0}{C_3} = \frac{1,6 \cdot 10^{-19}}{C_3} \cdot n_0 \quad (1.2)$$

Восстановление потенциала анода до первоначального значения производится зарядным током, идущим от источника тока через резистор R . Таким образом, на резисторе R возникает кратковременный импульс напряжения, причем величина импульса зависит от величины первичной ионизации, т.е. от вида и энергии регистрируемого излучения. Через разделительную емкость C_1 импульс передается на регистрирующую схему. Величина импульса в этом случае очень мала. Например, для альфа-частицы с энергией $E_\alpha = 5$ МэВ, $n_0 \sim 10^5$ пар ионов и при $C_3 = 10$ пф $\Delta V \approx 10^{-3}$ В. Поэтому для регистрации импульса такой величины приходится применять сложные усилители. Регистрация же отдельных бета-частиц еще более затруднена по тем же соображениям.

По мере увеличения напряжения на счетчике сначала вблизи нити, где напряженность электрического поля особенно велика, а затем и вдали от нее, электроны приобретают на длине свободного пробега кинетическую энергию, достаточную для ударной ионизации молекул газа. При этом вторичные электроны вместе с первичными, образовавшимися в результате ионизации газа альфа- или бета-частицей, ускоряются электрическим полем и также вызывают ударную ионизацию. Образуется лавина электронов, устремляющаяся к аноду. В результате этого величина импульса напряжения резко возрастает. Ее величина

$$\Delta V = \frac{en_0}{C_3} \cdot M \quad (1.3)$$

где M — коэффициент газового усиления. Детектор работает в так называемой пропорциональной области, в которой величина импульса пропорциональна первичной ионизации. Величина коэффициента газового усиления M в конце пропорциональной области равна $10^4 - 10^5$.

При дальнейшем увеличении напряжения на детекторе коэффициент газового усиления M резко возрастает, а счетчик переходит в режим самостоятельного разряда (область Гейгера-Мюллера). В этой области не наблюдается пропорциональности между величиной импульса и первичной ионизацией. Любая частица, попавшая в газовый объем счетчика, будет вызывать в нем разряд, и поэтому легко регистрируется. В этой области все образующиеся импульсы одинаковы, поэтому различить тип попадающих в детектор частиц или определить их энергию нельзя. Это недостаток таких детекторов, однако, большая величина импульса, равная нескольким вольтам, позволяет легко регистрировать любой вид излучения с помощью простого усилителя и пересчетного прибора.

Зависимость величины импульса тока от напряжения U_a для газонаполненных детекторов показана на рис. 1.2.

Характер самостоятельного разряда в области 5 на рис.1.2 существенно отличается от разряда пропорциональной области (область 3). Если в пропорциональной области усиление ионизационного эффекта, создаваемого заряженными частицами в рабочем объеме детектора, почти полностью обусловлено усилением за счет ударной ионизации, то в области самостоятельного разряда наряду с ударной ионизацией большую роль играют вторичные эффекты: фотоэффект и вырывание электронов из катода положительными ионами.

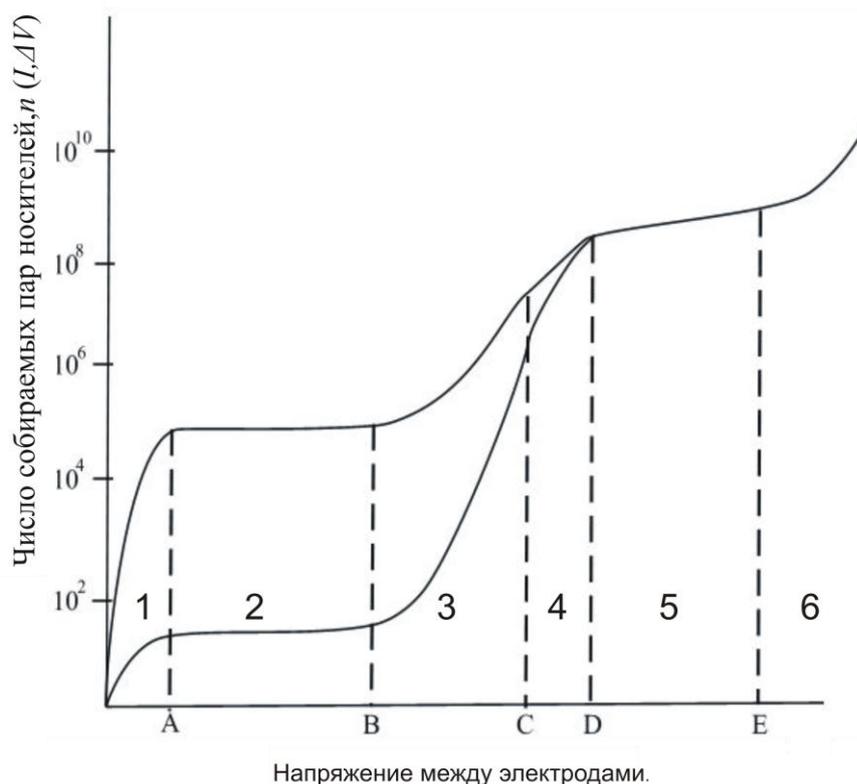


Рис. 1.2. «Вольтамперная» характеристика газонаполненных детекторов при двух различных ионизационных эффектах: 1 - область рекомбинации и диффузии; 2 - область работы ионизационной камеры; 3 - область работы пропорциональных детекторов; 4 - область ограниченной пропорциональности; 5 - область работы детекторов с самостоятельным разрядом; 6 - область непрерывного разряда.

Последнее обстоятельство приводит к тому, что при напряжениях, лежащих выше точки D , коэффициент полного газового усиления M возрастает настолько сильно, что импульсы от любой заряженной частицы, попавшей в счетчик, становятся одинаковыми. Напряжение $U_{заж}$, соответствующее этой точке, начиная с которого счетчик переходит в режим самостоятельного разряда, называется напряжением зажигания газового разряда.

Полный коэффициент газового усиления M в этом случае равен

$$M = \frac{m}{1 - m\gamma} \quad (1.4)$$

где m - коэффициент газового усиления в первой лавине (без фотоионизации); γ - вероятность фотоионизации. Так как $\gamma \sim 10^{-4}$, то для пропорциональной области $m = 10^2 - 10^3$ и $M \approx m$.

Для области самостоятельного разряда $m = 10^6 - 10^8$, $m \cdot \gamma \approx 1$, $M \rightarrow \infty$ ($M \approx 10^8 - 10^{10}$).

Отдельные стадии разряда в счетчике с самостоятельным разрядом можно представить следующим образом. При попадании заряженной частицы в счетчик в нем образуется вспышка газового разряда, охватывающая весь счетчик, вокруг нити образуется облако электронов и положительных ионов. Распространению разряда по всему объему счетчика способствуют фотоны, образующиеся во время

ударной ионизации. Фотоны выбивают фотоэлектроны на катоде счетчика или на компонентах газовой смеси, если потенциал ионизации ее меньше энергии фотона; фотоэлектроны также ускоряются и образуют новые лавины.

Так как подвижность электронов велика по сравнению с подвижностью ионов, то электроны соберутся на аноде раньше, чем положительные ионы успеют заметно отойти от анода. Процесс собирания электронов длится короткое время $t_1=10^{-7}$ с, за которое потенциал анода резко падает. Этим обусловлен крутой передний фронт импульса. После этой стадии разряда положительные ионы начинают двигаться к катоду, освобождая часть связанного заряда на аноде, потенциал которого понижается дальше. Максимальное снижение потенциала на аноде имеет место в момент нейтрализации положительных ионов на катоде. Затем после некоторого промежутка, зависящего от постоянной времени RC -цепочки, происходит восстановление потенциала анода вследствие утечки электронов через резистор R . Восстановление потенциала происходит по закону:

$$V = V_m \cdot e^{-t/RC} \quad (1.5)$$

График изменения потенциала анода во время разряда изображен на рис. 1.3, из которого видно, что как амплитуда, так и длительность импульса почти целиком обусловлены движением положительных ионов, электроны формируют часть переднего фронта импульса.

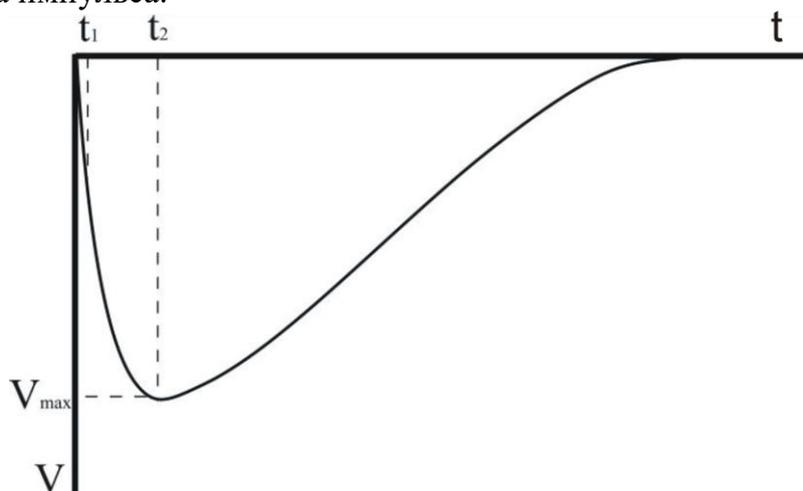


Рис. 1.3. Форма импульса на выходе газоразрядного детектора. t_1 - время собирания электронов $\sim 10^{-7}$ с; t_2 - время собирания положительных ионов 10^{-4} с.

При нейтрализации положительных ионов на катоде может иметь место вырывание электронов, часть из которых ускоряется полем, и разряд может продолжаться непрерывно. В связи с этим, важным моментом у газоразрядных счетчиков является процесс гашения разряда. Различают медленные или несамогасящиеся счетчики и быстрые или самогасящиеся. Гашение разряда у медленных счетчиков реализуется путем внешнего высокоомного гасящего резистора R , величина которого выбирается такой, что постоянная времени $\tau=RC$, много больше времени собирания положительных ионов. Поэтому к моменту нейтрализации положительных ионов на катоде, поле вокруг анода снижается ниже порога зажигания за счет электронов, собравшихся на нити, вследствие чего разряд обрывается.

Разряд у самогасящихся счетчиков гасится благодаря добавлению к основному наполнителю - аргону многоатомных газов: этилена, метилового спирта, метилала. Молекулы многоатомного газа играют двойную роль: они препятствуют, во-первых, фотоэффекту с катода благодаря интенсивному поглощению фотонов, и, во-вторых, - вырыванию электронов с катода положительными ионами.

1.2. Основные характеристики газоразрядных детекторов

Рабочая характеристика детектора.

Качество газоразрядного детектора определяется видом зависимости между скоростью счета n [имп./с] и напряжением, приложенным к детектору. Эта зависимость называется рабочей (или счетной) характеристикой детектора, она изображена на рис. 1.4.

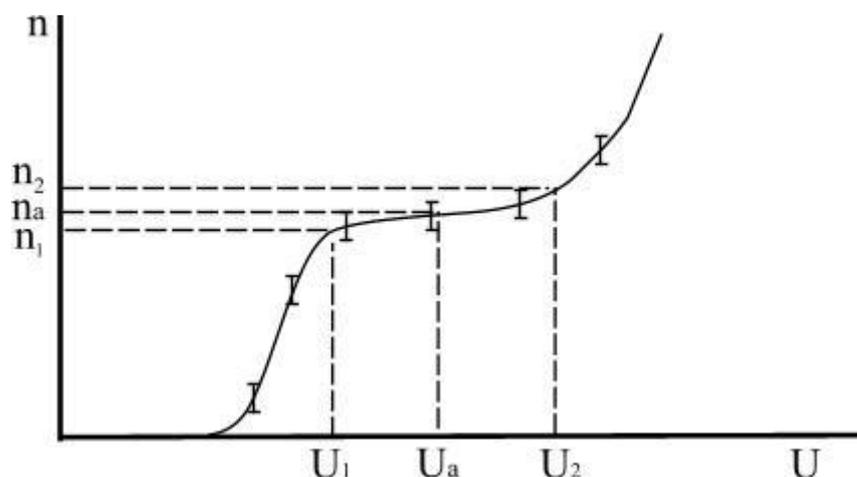


Рис. 1.4. Рабочая характеристика газоразрядного детектора.

При значениях разности потенциалов, лежащих ниже области самостоятельного разряда, импульсы тока имеют различную амплитуду. Регистрирующая схема обладает некоторым порогом чувствительности. С ростом напряжения растет число импульсов, амплитуда которых достаточна для регистрации. Этим фактором обусловлен рост начального участка счетной характеристики. В области самостоятельного разряда каждая ионизирующая частица вызывает импульс с большой амплитудой, достаточной для регистрации. Поэтому в области самостоятельного разряда у идеального счетчика скорость счета не зависит от напряжения и определяется числом частиц, попавших в счетчик. В действительности с ростом напряжения наблюдается слабое увеличение числа зарегистрированных импульсов. Этот наклон зависит от числа ложных разрядов и послеразрядов, а также краевых эффектов (например, увеличение чувствительного объема детектора), т.е. от процессов, резко проявляющихся с увеличением рабочего напряжения. Область напряжения, где скорость счета остается почти постоянной, называется "плато" счетчика. Плато является рабочей областью напряжений, при которых производится измерение с детектором. У хороших детекторов длина "плато" составляет 200 - 300 В, а наклон его не превышает нескольких процентов на 100 В.

Наклон плато определяется по формуле

$$\Delta = \frac{(n_2 - n_1) \cdot 10000}{n_1 \cdot (U_2 - U_1)} \quad (1.6)$$

При дальнейшем увеличении напряжения в детекторе возникает непрерывный разряд и он быстро выходит из строя.

Детектор имеет ограниченный срок службы. По мере распада многоатомных молекул его счетная характеристика постепенно ухудшается - укорачивается длина "плато" и увеличивается его наклон, поэтому нужно периодически проверять счетную характеристику.

Обычно в качестве рабочей точки на характеристике выбирают середину плато. При широком плато выбирают рабочую точку ближе к гейгеровскому порогу.

Разрешающая способность детектора.

Так как детекторы с самостоятельным разрядом предназначены для счета частиц, то можно говорить только о временной разрешающей способности. Работа детекторов характеризуется тремя важными константами: мертвым временем, разрешающим временем и временем восстановления. Продолжительность этих времен и их смысл указаны на рис. 1.5.

После попадания в детектор частицы и развития разряда, он теряет способность регистрировать излучение до тех пор, пока напряженность поля в детекторе не достигнет порога зажигания. Этот период называется "мертвым" временем детектора, он определяется в основном скоростью дрейфа положительных ионов в газе. По истечении "мертвого" времени, начиная с некоторого момента, детектор вновь начинает регистрировать излучение, но амплитуда импульсов в начале остается меньше нормального значения, так как поле в детекторе еще не достигло максимальной величины. Момент начала счета зависит также от чувствительности регистрирующего устройства. Этот период называется разрешающим временем установки. Промежуток времени, необходимый для полного восстановления величины импульса, называется временем восстановления.

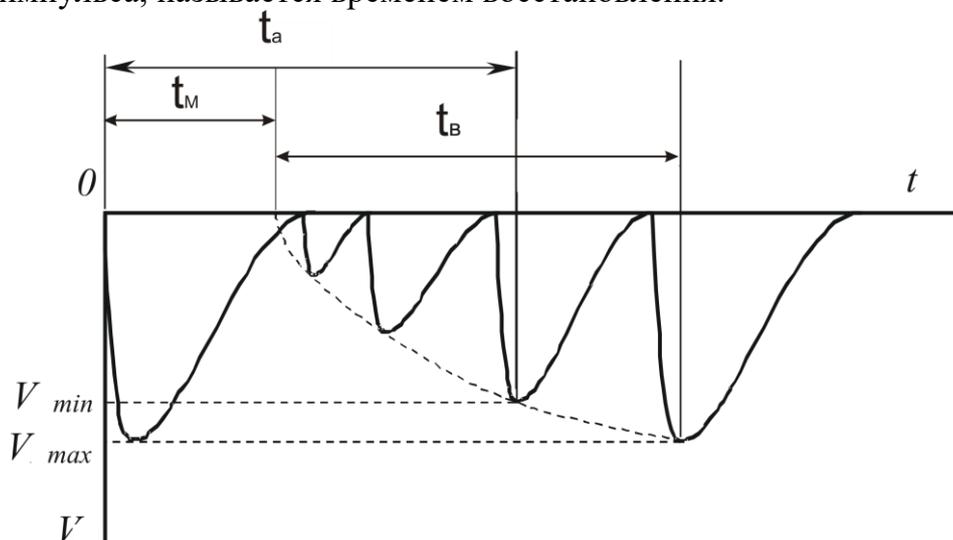


Рис 1.5. Осциллограммы импульсов на выходе газоразрядного детектора: t_M - мертвое время; t_a - разрешающее время; t_B - время восстановления; V_{min} - порог срабатывания регистрирующей схемы. V_{max} - максимальное значение амплитуды импульсов.

При больших скоростях счета часть частиц детектором не регистрируется из-за наличия разрешающего времени установки, которое, в основном, определяется

мертвым временем детектора. Истинную скорость счета можно определить по формуле (1.7).

$$n_{ист} = \frac{n_{изм}}{1 - n_{изм} \cdot t_a} \text{ [имп./с]} \quad (1.7)$$

Эффективность регистрации излучений.

Под эффективностью регистрации детекторов понимают отношение числа зарегистрированных импульсов к числу попавших в чувствительный объем детектора частиц или квантов излучения:

$$\eta = \frac{n_{изм}}{n_{унав}} \cdot 100\% , \quad (1.8)$$

где $n_{изм}$ - число зарегистрированных импульсов; $n_{унав}$ - число попавших в чувствительный объем счетчика частиц или квантов излучения за то же время. Причем $n_{унав}$ можно найти из соотношения $n_{унав} = A(t) \cdot G \cdot k$, где $A(t)$ - число частиц или квантов, испускаемых источником излучения в единицу времени в момент проведения измерений $A(t) = A_0 * 2^{\frac{-t}{T_{1/2}}}$, G - геометрический фактор, k - квантовый выход.

Для альфа- и бета-излучений эффективность регистрации близка к 100%. Для гамма-излучения эффективность регистрации газоразрядных детекторов зависит от коэффициентов поглощения излучения материалом катода и не превышает ~ 1 - 2%.

Теоретически эффективность регистрации излучения газоразрядными детекторами можно определить по формуле:

$$\eta = 1 - e^{-\bar{N}} \quad (1.9)$$

где \bar{N} - число пар ионов, образованных частицей или квантом в газе счетчика.

Для заряженных частиц $\bar{N} = s \cdot p \cdot l$ (s - удельная ионизация, 1/(атм*см); p - давление, атм.; l - путь в счетчике, см).

Для гамма-излучения \bar{N} можно оценить по формуле

$$\bar{N} \approx 2K_1(R_\phi \mu_\phi + K_2 R_k \mu_k + 2R_n \mu_n) \quad (1.10)$$

где μ_ϕ ; μ_k ; μ_n - коэффициенты поглощения гамма-излучения в материале катода счетчика при фотоэффекте, комптон-эффекте и образовании пар; R_ϕ , R_k , R_n - пробеги соответствующих электронов; K_1 - доля электронов, попадающая из катода в газ; K_2 - коэффициент, учитывающий распределение по энергиям комптоновских электронов.

1.3. Измерение эффективности регистрации бета-излучения газоразрядным детектором

В зависимости от назначения газоразрядного детектора могут существенно отличаться их конструктивные особенности. Для регистрации бета или альфа излучения, детекторы, имеющие сплошной стеклянный или металлический корпус не подходят, так как значительная часть излучения в данном случае будет поглощаться корпусом детектора. Для решения данной проблемы используют счетчики со специальными входными окнами, выполненными из материалов, практически не задерживающих короткопробежные частицы. В данной работе рассматривается торцевой счетчик бета-излучения, представляющий собой обычный цилиндрический газоразрядный счетчик с катодом и анодной нитью, отличающийся тем, что один из его торцов является входным окном для бета-излучения, выполненным в виде тонкого слоя слюды.

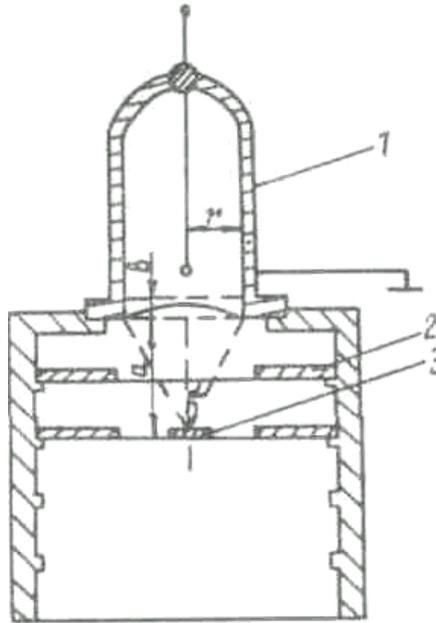


Рис. 1.6. Схема эксперимента по исследованию эффективности регистрации бета излучения при помощи торцевого детектора: 1-торцевой детектор со слюдяным окошком, 2-фильтр-поглотитель из алюминиевой фольги, 3-источник бета-излучения.

Эффективность регистрации η_β , учитывает, какой процент бета-частиц, попавших в чувствительный объем детектора, будет им зарегистрирован. Теоретическое значение данной величины определяется по формуле:

$$\eta_\beta = 1 - e^{-lN_0} \quad (1.11)$$

где l — путь частицы в детекторе; N_0 - число пар, созданных частицей в детекторе. Число пар, созданное в детекторе, можно определить как отношение энергии, которую частица потеряла в веществе детектора к энергии, которая необходима на создание одной электронно-ионной пары. Для газоразрядных счетчиков величина энергии образования электронно-ионных пар составляет порядка 30 эВ.

Экспериментальное значение эффективности определяется по формуле

$$\eta = \frac{n}{G \cdot A \cdot k \cdot f_1} \quad (1.12)$$

где: n – скорость счета импульсов детектором (имп/с), G – геометрический фактор, учитывающий, что только часть частиц движется к детектору, т.е. величина G определяет часть частиц, испускаемых источником, которая попадает в чувствительный объем детектора. Чувствительный объем детектора начинается на расстоянии $b=3-4$ мм от слюдяного окошка (рис. 1.6). Для торцевого детектора и точечного (размер источника меньше $0,5r$) источника геометрический фактор G равен отношению площади отсекаемого сегмента сферы к полной площади сферы:

$$G = \frac{1}{4\pi R^2} \int_0^d 2\pi R^2 \sin \Theta d\Theta = \frac{1}{2} \left[1 - \frac{d}{\sqrt{d^2 + r^2}} \right]; \quad (1.13)$$

где $d = a + b$

A – активность источника излучения на момент измерений (Бк). Данное значение активности дается с использованием закона радиоактивного распада на основе паспортного значения активности A_0 , по формуле:

$$A = A_0 \cdot e^{-0,693 \cdot \frac{t}{T_{1/2}}} \quad (1.14)$$

где A_0 – активность источника, указанная в его паспорте (см. приложение 1) t – время, которое прошло с момента измерения паспортной активности источника A_0 до момента проведения измерений, $T_{1/2}$ – период полураспада источника (см. приложение 1). Важно, чтобы время, прошедшее с момента паспортизации до момента измерений (t) и период полураспада ($T_{1/2}$) имели одинаковую размерность. k – квантовый выход источника. В данном случае, речь идет о квантовом выходе электронов. Физический смысл данной величины заключается в вероятности вылета одного электрона за один акт распада источника. Единицы измерения квантового выхода – доли единицы. Например, $k = 0,1$ говорит о том, что на один акт распада источника есть в 10% вероятность вылета электрона, или же о том, что чтобы источник испустил хотя бы один электрон, он должен распасться десять раз. f_1 - поправка на поглощение бета-частиц в слое воздуха между источником и детектором, а также в слое слюды входного окна счетчика.

1.4 Экспериментальная часть

ВНИМАНИЕ!!! Включение установки и размещение источника ионизирующего излучения осуществляются только в присутствии преподавателя

Описание экспериментальной установки.

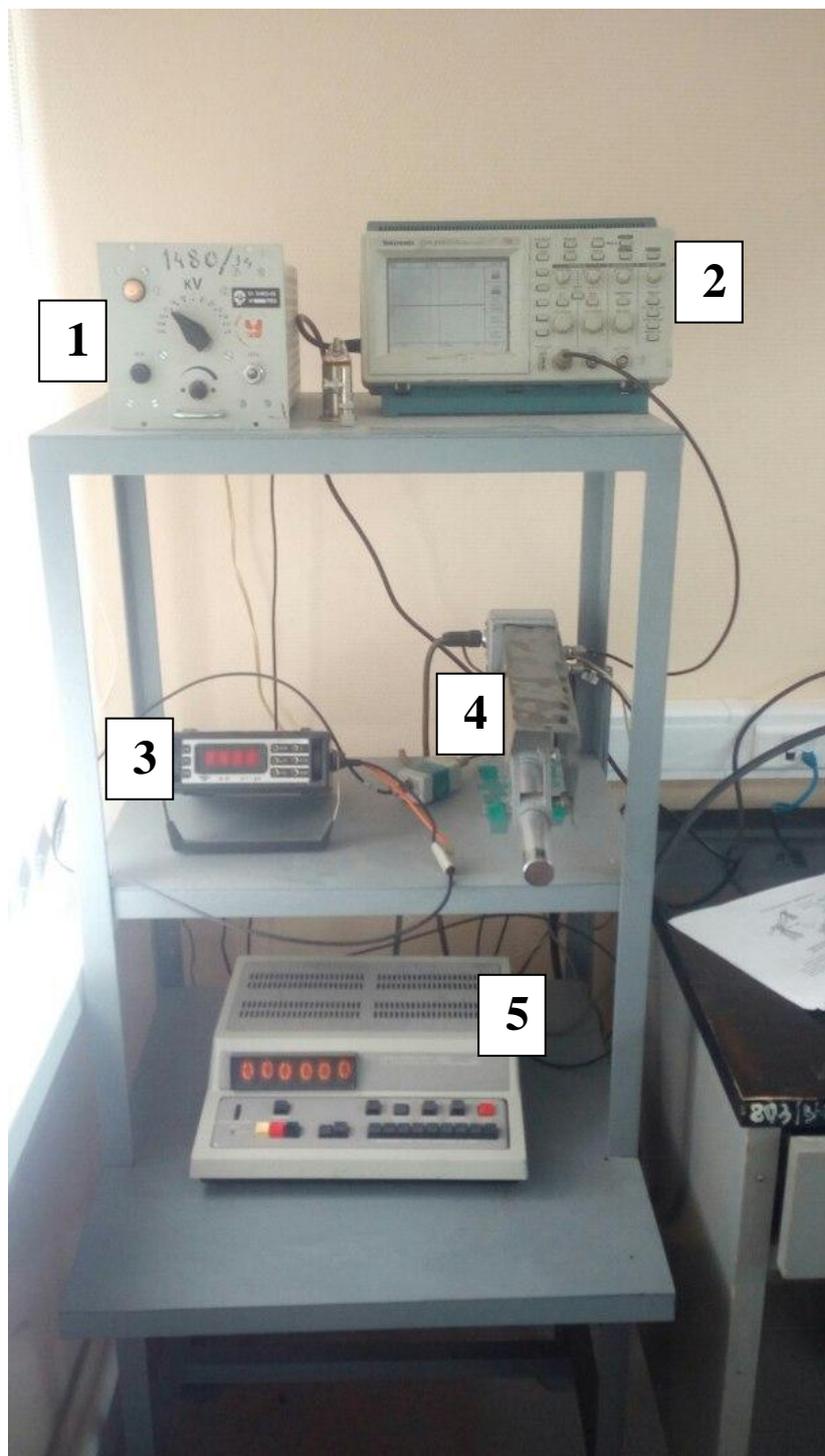


Рис.1.7. Общий вид стенда с газоразрядным детектором. 1 – источник высокого напряжения; 2 – осциллограф; 3 – вольтметр; 4 – детектор под защитным металлическим кожухом; 5 – пересчетный прибор.

Источник высокого напряжения позволяет получать напряжение до 2,4 кВ с максимальным током до 2,5 мА, имеет две ручки регулировки напряжения (грубо и плавно). Цифровой осциллограф имеет два независимых входа для параллельной обработки сигналов, оснащен базовыми функциями регулировки отображаемой амплитуды поступающего сигнала и его длительности. Также есть функция установки порога дискриминации импульсов. Выход источника высокого напряжения подключается ко входу блока детектора, а также, через специальный тройник, ко входам вольтметра. Выходы с блока детектора подключаются к

осциллографу и к пересчетному прибору. Детектор ионизирующего излучения представляет собой стеклянную трубку, внутри которой находится катод, цилиндрической формы, и анодная нить. Максимальное напряжение, которое можно подать на детектор без отрицательных для него последствий, равно 1 кВ. Детектор находится под защитным металлическим кожухом, который достаточно просто демонтируется и устанавливается на место (кожух не закреплен какими-либо крепежными элементами относительно детектора). Помимо защиты от механических воздействий, кожух также служит для защиты от света, попадающего на детектор. Фотоны видимого света также могут приводить к появлению импульсов шума, поступающих с детектора. В этом можно убедиться, наблюдая сигнал на осциллографе при наличии и отсутствии защитного кожуха.

ВНИМАНИЕ!!! Во избежание повреждений электрическим током строго не рекомендуется братья одновременно двумя руками за металлические части установки.

Задание 1. Изучить зависимость амплитуды импульсов от напряжения, подаваемого на детектор, и форму импульсов на выходе газоразрядного детектора.

Изучение зависимости амплитуды импульсов от напряжения на детекторе производится в следующем порядке:

- 1) убедиться в правильности подключения элементов установки друг к другу: выход источника высокого напряжения подключен ко входу блока детектора, выходы с блока детектора подключены ко входам осциллографа и пересчетного прибора.
- 2) Установить значение высокого напряжения на источнике питания не более 800 Вольт (для этого ручку грубой настройки установить напротив значения 0,8, ручку плавной настройки повернуть до упора влево);
- 3) включить осциллограф, пересчетный прибор, вольтметр и источник высокого напряжения;
- 4) разместить источник ионизирующего излучения Cs^{137} из набора ОСГИ в точке расположения источников №1 (см. рис. 1.8.). Чтобы получить доступ к данной точке, необходимо осторожно снять защитный металлический кожух, закрывающий стеклянный корпус детектора излучения. После установки источника кожух необходимо разместить на прежнее место.

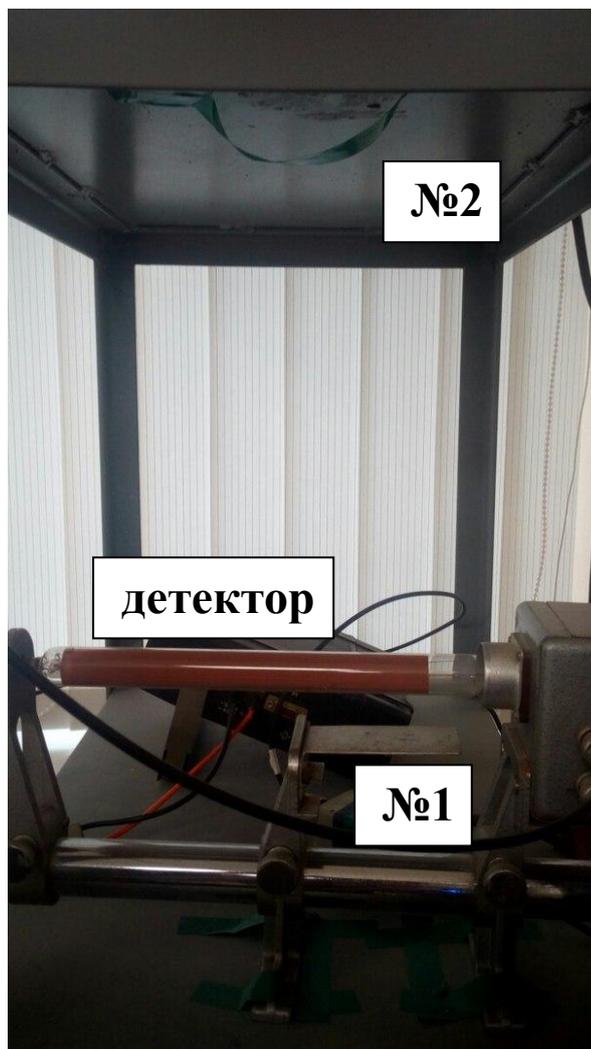


Рис. 1.8. Точки расположения источников ионизирующего излучения относительно детектора.

- 5) на осциллографе применить функцию автоустановки параметров для входного сигнала (кнопка «Autoset»), далее, с помощью ручки «Level» установить уровень порога дискриминации отображаемых на осциллографе сигналов на значение «- 0,2 В». Установка уровня дискриминатора сопровождается перемещением соответствующей стрелочки на экране осциллографа. Импульсы, амплитуды которых будут меньше чем установленное порогом дискриминации значение, не будут давать вклад в сигнал, регистрируемый осциллографом.
- б) плавно повышать напряжение на детекторе до появления импульсов небольшой величины

Обратить внимание на тот факт, что вначале амплитуды импульсов неодинаковы, так как детектор работает в пропорциональной области. Пересчетный прибор эти импульсы не регистрирует ввиду того, что порог дискриминатора выше амплитуды импульсов. При дальнейшем повышении напряжения детектор переходит в область самостоятельного разряда, амплитуды импульсов резко возрастают, а их разница уменьшается.

Пересчетный прибор начинает регистрировать импульсы, поступающие с детектора. Усиление на осциллографе необходимо уменьшить с тем, чтобы весь импульс умещался на экране.

В области самостоятельного разряда амплитуды импульсов одинаковы для любых частиц, независимо от их энергий.

Изучение формы импульса на выходе детектора производится в следующем порядке: 1) установить напряжение на детекторе, соответствующее области самостоятельного разряда; 2) используя ручки регулировки амплитудного и временного масштабирования на осциллографе, а также ручку изменения порога дискриминации импульсов, получить на экране осциллографа устойчивый сигнал с детектора аналогичный изображенному на рис. 1.3; 3) зарисовать форму импульса, определить его длительность и амплитуду для данного напряжения на детекторе.

Задание 2. Снять рабочую характеристику детектора, определить рабочее напряжение детектора, длину и наклон плато.

Снятие рабочей характеристики детектора производится в следующем порядке:

1) не выключая источник высокого напряжения, разместить источник ионизирующего излучения Cs^{137} из набора ОСГИ в точке расположения источников №1;

2) Установить на пересчетном приборе время измерения 1000 с, нажать кнопку "Пуск" на пересчетном приборе,

3) плавно повышать напряжение на детекторе до тех пор, пока не начнется счет импульсов на пересчетном приборе. Определить напряжение начала счета;

4) найти скорость счета импульсов при напряжении начала счета;

5) определить скорости счета импульсов при повышении напряжения на детекторе с интервалом 20 В. Снять 7 точек при повышении напряжения. Результаты занести в табл. 1.1. Помнить, что максимально напряжение, которое следует подавать на данный детектор не должно превышать значения 1 кВ.

Таблица 1.1.

Данные для построения рабочей характеристики газоразрядного детектора

№ п/п	U_a на детекторе	Время измерения t , с	Число импульсов n		Скорость счета \bar{n} , имп./с
1	...	50			
2		50			
3		50			
...		...			

ВНИМАНИЕ!!! Запрещается резко увеличивать напряжение на детекторе, так как при этом детектор переходит в режим непрерывного разряда и быстро выходит из строя.

По данным таблицы построить график, определить длину и наклон плато, выбрать рабочее напряжение. На графике указать абсолютные ошибки измерений скорости счета. Наклон плато определяется по формуле (1.6).

Задание 3. Определить разрешающее время детектора методом двух источников.

Определение разрешающего времени детектора производят следующим образом:

1) установить рабочее напряжение на детекторе;

2) измерить скорость счета от двух источников вместе и от каждого в отдельности. При этом необходимо соблюдать геометрию эксперимента, а также ис-

пользовать источники примерно равной активности ($n_1 \approx n_2 \approx 6000-7000$ имп./мин).
Результаты эксперимента занести в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Определение разрешающего времени детектора

№ п/п	Вид измерения	Время измерения t, c	Число импульсов n	Скорость счета \bar{n} , имп./с
1	1-й источник	300		$n_1 =$
2	1-й и 2-й источники	300		$n_{12} =$
3	2-й источник	300		$n_2 =$
4	фон	300		n_ϕ

Разрешающее время детектора определяют по формуле

$$t_A \cong \frac{(n_1 - n_\phi) + (n_2 - n_\phi) - (n_{12} - n_\phi)}{2(n_1 - n_\phi)(n_2 - n_\phi)} \quad (1.15)$$

Разрешающее время должно быть положительным, оно зависит от "мертвого" времени детектора. Сравнить длительность импульса и разрешающее время: они должны быть одного порядка.

Задание 4. Определить эффективность регистрации гамма-излучения газоразрядным детектором.

Экспериментальное определение эффективности регистрации гамма-излучения производится в следующем порядке:

- 1) поместить источник гамма-излучения известной активности на подставку (точка расположения источника №2);
- 2) определить скорость счета импульсов от источника n_I ;
- 3) зная активность источника и геометрию измерения, найти $n_{исч}$ по формуле:

$$n_{исч} = A \cdot G \cdot k. \quad (1.16)$$

Геометрический фактор для данных условий эксперимента G дается формулой:

$$G = \frac{1}{\pi} \arctg \frac{RL/2}{[(d^2 - R^2)(b^2 - R^2)]^{1/2}} + \frac{LR^2}{b^3} \cdot [\arccos \frac{R}{d} - \frac{R}{d} (1 - \frac{R^2}{d^2})^{1/2} \cdot (1 - \frac{3R^2}{2b^2}) + \frac{dR}{b^2} (1 - \frac{R^2}{d^2})^{3/2}] \quad (1.17)$$

где R – радиус счетчика; L – длина; d – расстояние от центра трубки до источника;

$$b^2 = (\frac{L}{2})^2 + d^2$$

- 4) активность источника A определяется исходя из активности на момент аттестации источника (указана в паспорте) с учетом закона радиоактивного распада (см. 1.14).

- 5) Определить эффективность регистрации гамма-излучения газоразрядным детектором по формуле (1.8). Результаты оформить в виде табл. 1.3.

Таблица 1.3 Определение эффективности регистрации гамма-излучения газоразрядным детектором

источник излучения	A_0 , кБк	k , %	E_γ , МэВ	d , см	R , см	L , см	G	A	$n_{ист}$	n_l	n_ϕ	$n_{изм} = n_l - n_\phi$	η , %
^{60}Co				24	1.	18							
^{137}Cs				24	1.	18							

Задание 5. Вычисление эффективности регистрации гамма и бета излучения газоразрядным торцевым детектором

Измерение активности бета-источника производится в следующем порядке:

- 1) установить рабочее напряжение на детекторе;
- 2) вычислить геометрический фактор G для торцевого детектора по формуле (1.13), приняв $r = 12$ мм, $b = 3$ мм;
- 3) определить поправку на поглощение бета-излучения в воздухе и в окошке детектора по следующей формуле.

$$f_1 = e^{-\mu(d_c + \rho_B a)}$$

где μ – коэффициент поглощения бета частиц для данной энергии, d_c – толщина слюдяного окошка в единицах г/см^2 , ρ_B – плотность воздуха в г/см^3 , a – расстояние от источника до входного окна детектора.

4) вычислить эффективность регистрации бета излучения торцевым счетчиком. Для этого получить значения числа зарегистрированных импульсов отдельно от гамма-излучения и от суммарного гамма и бета излучения. После чего, значения числа импульсов зарегистрированных от бета излучения можно получить путём вычитания данных от поля гамма излучения из данных от поля смешанного (гамма + бета) излучения. Регистрация чистого гамма-излучения производится с использованием бета фильтра (алюминиевой пластинки), отсекающей бета излучения источника Cs^{137} . Эффективность регистрации вычисляется с помощью формулы 1.12.

Таблица 1.4 Определение эффективности регистрации гамма и бета излучения торцевым детектором

источник излучения	A_0 , кБк	Тип распада	k , %	E_β , МэВ	r , см	b , см	G	A , кБк	$n_{ист}$	$n_{изм}$	η , %
^{137}Cs		β			1,2	0,3					

Контрольные вопросы:

1. Принцип действия и устройство газоразрядных детекторов.
2. Механизм газового разряда в детекторах с самостоятельным разрядом.

3. Способы гашения разряда в газоразрядных детекторах.
4. Вольт-амперная характеристика газонаполненных детекторов.
5. Характеристики детекторов с самостоятельным разрядом.
6. Методы измерения активности источников излучений.
7. Виды поправок, учитываемых при абсолютном методе определения активности источников бета-излучения.

Список рекомендуемой литературы.

1. Абрамов А.И., Казанский Ю.А., Матусевич Е.С. Основы экспериментальных методов ядерной физики. М.: Энергоатомиздат, 1985
2. Калашникова В.И., Козадаев М.С. Детекторы элементарных частиц. – М.: Наука, 1966
3. Прайс В. Регистрация ядерного излучения. М.: ИЛ, 1960
4. Матвеев В.В., Хазанов Б.И. Приборы для измерения ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1972.

Приложение 1.

Данные по источникам излучения, используемым в работе.

Источник	A_0 , кБк	E_γ , кэВ	k , %	$T_{1/2}$, сут.	Дата паспортизации активности
^{137}Cs	113,5	661,660	85,1	11020	31.12.2001 г.
^{60}Co	99,66	1173,238	99,86	1925,5	
		1332,502	99,98		