

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ДЕТЕКТОРОВ

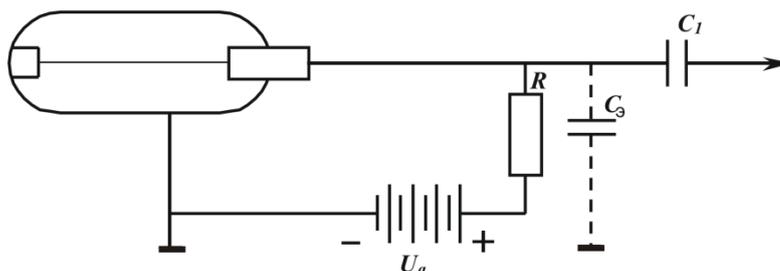
Цель работы: изучение принципа действия и устройства газоразрядных детекторов; экспериментальное определение основных характеристик детекторов с самостоятельным разрядом; определение активности источника бета-излучения.

### 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;  $\lambda$  — 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,

достигают 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.

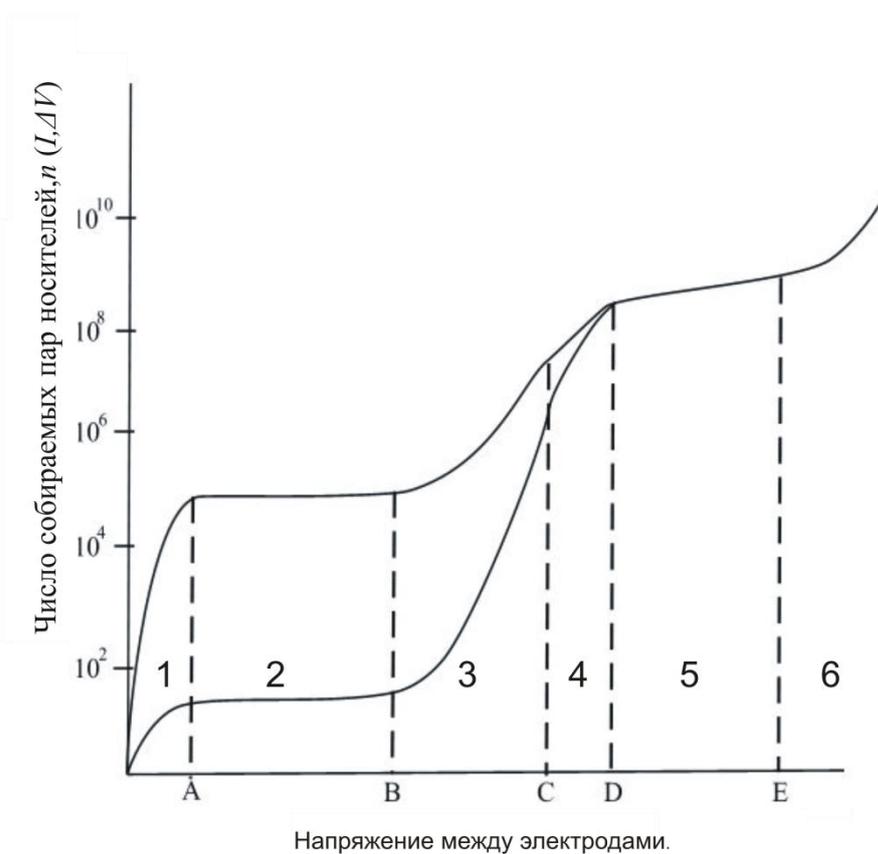


Рис. 1.2. «Вольтамперная» характеристика газонаполненных детекторов при двух различных ионизационных эффектах: 1 - область рекомбинации и диффузии; 2 - область работы ионизационных камер; 3 - область работы пропорциональных детекторов; 4 - область ограниченной пропорциональности; 5 - область работы детекторов 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  $U_{зж}$ , 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);  $\gamma$  - 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  $m = 10^6 - 10^8$ ,  $m \cdot \gamma \cong 1$ ,  $M \rightarrow \infty$  ( $M \cong 10^8 - 10^{10}$ ).

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.

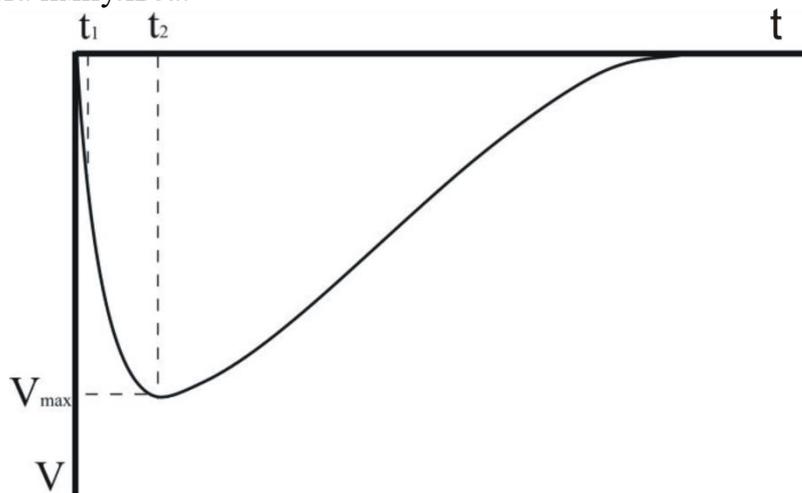


Рис. 1.3. Форма импульса на выходе газоразрядного детектора.

$t_1$  - 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, метилаля. 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.

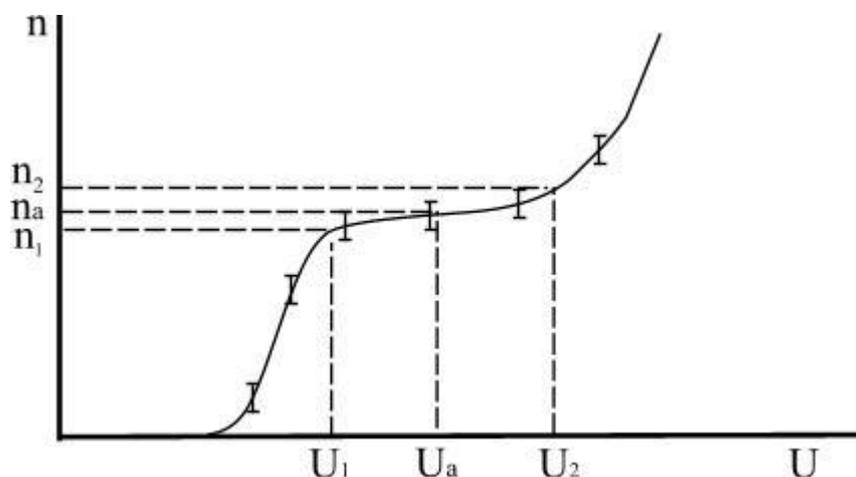


Рис. 1.4. Рабочая характеристика газоразрядного детектора.

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.

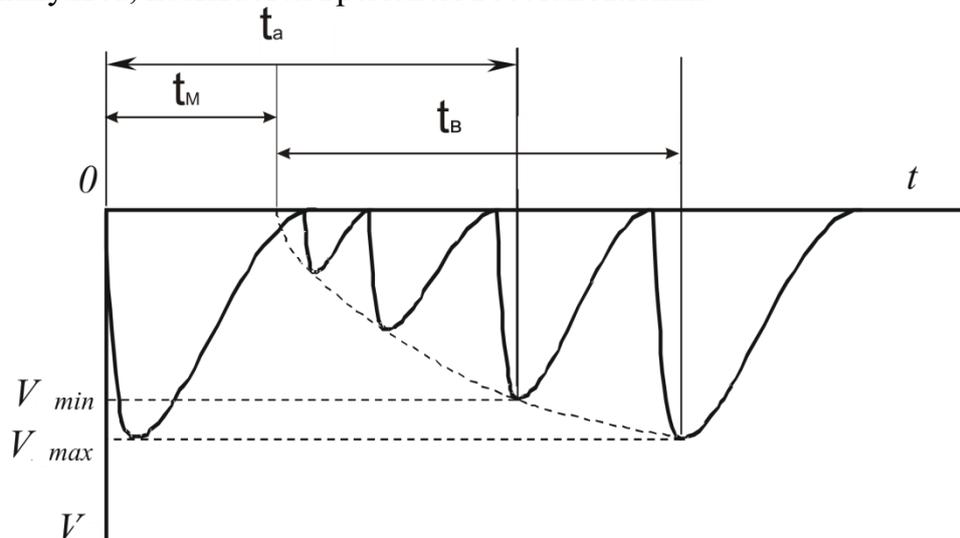


Рис 1.5. Осциллограммы импульсов на выходе газоразрядного детектора:  $t_M$  - мертвое время;  $t_a$  - разрешающее время;  $t_B$  - время восстановления;  $V_{min}$  - порог срабатывания регистрирующей схемы.  $V_{max}$  - максимальное значение амплитуды импульсов.

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:

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

где  $n_{изм}$  - число зарегистрированных импульсов;  $n_{упав}$  - число попавших в чувствительный объем счетчика частиц или квантов излучения за то же время. Причем  $n_{упав}$  можно найти из соотношения  $n_{ист} = A(t) \cdot G$ , 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.

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,  $1/(\text{атм} \cdot \text{см})$ ;  $p$  - 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  $\mu_\phi$ ;  $\mu_k$ ;  $\mu_n$  - коэффициенты поглощения гамма-излучения в материале катода счетчика при фотоэффекте, комптон-эффекте и образовании пар;  $R_\phi$ ,  $R_k$ ,  $R_n$  - пробеги соответствующих электронов;  $K_1$  - доля электронов, попадающая из катода в газ;  $K_2$  - коэффициент, учитывающий распределение по энергиям комптоновских электронов.

### 1.3. Измерение активности источника бета-излучения газоразрядным детектором

Методы измерения активности разделяются на относительные и абсолютные. При относительных измерениях сравнивают интенсивность бета-излучения препарата с эталоном. Чтобы получить правильные значения измеряемой активности необходимо выбирать эталон с тем же спектром излучения, что и у исследуемого препарата, эталон и препарат должны быть одинаковых размеров и измерения необходимо проводить в одинаковых условиях.

Во многих случаях относительные измерения проводить затруднительно, в этих случаях проводят абсолютные измерения активности. При абсолютных методах определения активности эталоны не требуются, но следует в измеренное число

импульсов внести ряд поправок, величина которых определяется расчетным или экспериментальным путем. Экспериментальный учет поправок дает лучшую точность, чем метод вычислений.

Основные виды поправок, которые необходимо учитывать при абсолютных измерениях активности источников бета-излучения: геометрический фактор  $G$ , эффективность регистрации  $\eta_\beta$ , разрешающее время  $t_a$ , фон  $n_\phi$ , поглощение на пути между источником и детектором  $f_1$ , поглощение в источнике  $f_2$ , обратное рассеяние  $f_3$ .

Величина этих поправок зависит от типа детектора, характеристик источника и условий измерения.

С учетом приведенных поправок, связь между зарегистрированной скоростью счета  $n$  и активностью препарата имеет вид

$$A = \frac{n - n_\phi}{G \cdot \eta_\beta \cdot f_A \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3} \quad (1.11)$$

Геометрический фактор  $G$  учитывает, 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:

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

$$d = a + b \quad (1.12)$$

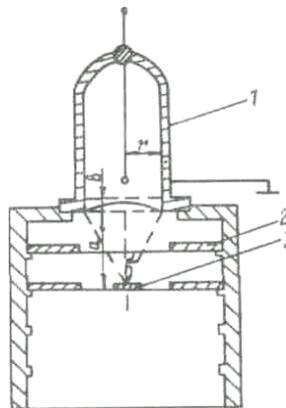


Рис. 1.6. Схема измерения активности источников бета-излучения при помощи торцевого детектора: 1-торцевой детектор со слюдяным окошком, 2-поглотитель из алюминиевой фольги, 3-источник бета-излучения.

Эффективность регистрации  $\eta_\beta$ , учитывает, какой процент бета-частиц, попавших в чувствительный объем детектора, будет им зарегистрирован, ее величина определяется по формуле:

$$\eta_\beta = 1 - e^{-lN_0} \quad (1.13)$$

где  $l$  — путь частицы в детекторе;  $N_0$  - число пар, созданных частицей в детекторе.

Разрешающее время  $t_a$  определяется экспериментальным путем, а поправка на разрешающее время вычисляется из формулы:

$$f_A = \frac{n_{изм}}{n_{ист}} = 1 - t_a n_{изм} \quad (1.14)$$

Для газоразрядных детекторов  $t_a \sim 10^{-4}$  с.

Величина фона  $n_\phi$  вызвана присутствием космического излучения, радиоактивных загрязнений и самопроизвольных разрядов в детекторе. При измерении слабых активностей фон мешает, поэтому его необходимо уменьшать. Для этой цели служат свинцовые домики, покрытые изнутри алюминием для уменьшения рассеяния излучения.

При измерениях активности бета-излучения в присутствии гамма-лучей того же источника, из величины  $n$  следует вычитать не только  $n_\phi$ , но и скорость счета  $n_\gamma$ , обусловленную гамма-излучением.

Поправка на поглощение бета-частиц в воздухе и в слюде счетчика  $f_1$  вычисляется по формуле (1.15) или определяется экспериментально:

$$f_1 = \frac{n_{изм}}{n_{ист}} = e^{-\mu(d_c + \rho_B a)} \quad (1.15)$$

( $\mu$  - массовый коэффициент поглощения бета-излучения;  $d_c$  - толщина слюдяного окошка (мг/см);  $\rho_B$  — плотность воздуха ( $\rho_B = 1,29 \cdot 10^{-3}$  г/см<sup>3</sup>);  $a$  - расстояние от источника до детектора).

Экспериментально поправку на поглощение  $f_1$  определяют, помещая перед окошком детектора поглотитель из алюминиевой фольги и измеряя скорость счета. Получается часть кривой поглощения бета-излучения (рис. 1.7).

Полученную кривую в полулогарифмическом масштабе экстраполируют к нулевой толщине поглотителя и определяют поглощение в окошке детектора и слое воздуха (толщина слоя воздуха в 1 см соответствует 1,29 мг/см<sup>2</sup>).

Коэффициент  $f_1$  определяется как отношение скорости счета без дополнительных поглотителей  $n$  к экстраполированному значению скорости счета при нулевой толщине поглотителя  $n_0$ :

$$f_1 = \frac{n}{n_0} \quad (1.16)$$

Если источник бета-излучения имеет толщину  $d$  большую, чем максимальный пробег электронов в нем, то необходимо вносить поправку на поглощение в источнике  $f_2$ .

Для плоскопараллельного источника его поверхности достигает только часть электронов из слоя  $dx$ :

$$dN_e = \frac{N_0}{d} e^{-\mu x} dx \quad (1.17)$$

где  $N_0$  - полное число электронов, испускаемых источником.

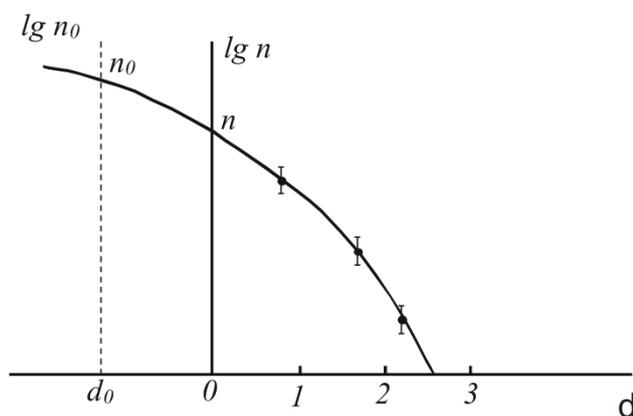


Рис. 1.7. Кривая поглощения бета-излучения.  $d$  – толщина поглотителя,  $d_0$  – толщина окошка детектора ( $\text{г/см}^2$ ).

Если удельная активность источника не зависит от  $x$ , то после интегрирования получим:

$$N_l = N_0 \frac{1 - e^{-\mu d}}{\mu d} \quad (1.18)$$

Отсюда:

$$f_2 = \frac{N_l}{N_0} = \frac{1 - e^{-\mu d}}{\mu d} \quad (1.19)$$

Тонкие источники бета-излучения изготавливают путем нанесения радионуклида на подложку, при этом изотропное распределение излучения по углам нарушается из-за рассеяния бета-частиц в материале подложки.

В результате обратного рассеяния увеличивается число бета-частиц, летящих в сторону детектора, следовательно, увеличивается регистрируемая скорость счета.

Коэффициент обратного рассеяния возрастает с толщиной подложки и при  $d \approx 0,2 \cdot l_{\text{max}}$  достигает насыщения ( $l_{\text{max}}$  – экстраполированная длина пробега). Обратное рассеяние возрастает с увеличением эффективного атомного номера вещества подложки и с ростом максимальной энергии бета-спектра. Обратное рассеяние не изотропно и зависит от геометрии измерений.

#### 1.4 Экспериментальная часть

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

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) включить осциллограф, пересчетный прибор и источник высокого напряжения;
- 2) поместить под детектор источник излучения;
- 3) установить на осциллографе переключатель "Развертка" в положение "Непрерывная", а усилитель - в положение максимального усиления;
- 4) 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) переключатель "развертка" на осциллографе установить в положение "ждуца", при этом на экране появится отрицательный импульс; 3) зарисовать форму импульса, определить его длительность.

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

Снятие рабочей характеристики детектора производится в следующем порядке:

- 1) поместить под детектор источник излучения;
- 2) 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 50 В. Снять 7-8 точек при повышении напряжения. Результаты занести в табл. 1.1.

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	...	100			
2		100			
3		100			
...		...			

**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

использовать 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 $t$ , с	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		$n_\phi$

Разрешающее время детектора определяют по формуле

$$t_A \cong \frac{(n_1 - n_\phi) + (n_2 - n_\phi) - (n_{12} - n_\phi)}{2(n_1 - n_\phi)(n_2 - n_\phi)} \quad (1.20)$$

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;
- 2) определить скорость счета импульсов от источника  $n_1$ ;
- 3) зная активность источника и геометрию измерения, найти  $n_{ист}$  по формуле:

$$n_{ист} = A \cdot G. \quad (1.21)$$

Геометрический фактор  $G$  дается формулой:

$$G = \frac{1}{\pi} \arctg \frac{RL/2}{[(d^2 - R^2)(b^2 - R^2)]^{1/2}} + \frac{LR^2}{b^3} \cdot \left[ \arccos \frac{R}{d} - \frac{R}{d} \left(1 - \frac{R^2}{d^2}\right)^{1/2} \cdot \left(1 - \frac{3R^2}{2b^2}\right) + \frac{dR}{b^2} \left(1 - \frac{R^2}{d^2}\right)^{3/2} \right] \quad (1.22)$$

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

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

4. 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	$A_0$	$E_\gamma$ , МэВ	$d$ , см	$R$ , см	$L$ , см	$G$	$A$	$n_{ист}$	$n_1$	$n_\phi$	$n_{изм} = n_1 - n_\phi$	$\eta$ , %
$^{60}\text{Co}$			24	1.	18							
$^{137}\text{Cs}$			24	1.	18							

Задание 5. Измерить активность источника бета-излучения абсолютным методом.

Измерение активности бета—источника производится в следующем порядке:

- 1) установить рабочее напряжение на детекторе, определить фон детектора  $n_f$ ;
- 2) вычислить геометрический фактор  $G$  для торцевого детектора по формуле (1.12), приняв  $r = 12$  мм,  $b = 3$  мм;

3) определить экспериментально поправку на поглощение бета-излучения в воздухе и в окошке детектора. Полученные результаты сравнить с поправкой, рассчитанной по формуле (1.15).

При определении поправки на поглощение воспользоваться табл. 1.4 и 1.5.

Таблица 1.4

Значение расстояний от источника до детектора

Номер полок	1	2	3	4	5	6
$a$ [мм]	5	10	15	20	25	30

Таблица 1.5

К определению поправки на поглощение -  $f_i$

№ п/п	Толщина поглотителя (мг/см <sup>2</sup> )	$t, c$	$N$	$n$ (имп./с)
1	0	100		
2	2	100		
3	4			
...				
8	14			

4) вычислить активность источника бета-излучения с учетом поправок по формуле (1. 11).

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.