



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУЧНЫЙ ПАРК

Образовательный ресурсный центр по направлению физика

СЧЕТЧИК ГЕЙГЕРА-МЮЛЛЕРА

**Учебно-методическое пособие
(описание лабораторной работы)**

№ 1

Санкт-Петербург

2018

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов СПбГУ естественно-научных направлений обучения.

Лабораторная работа выполняется на оборудовании Образовательного ресурсного центра по направлению физика Научного парка СПбГУ (<http://researchpark.spbu.ru>).

Счетчик Гейгера–Мюллера

ВВЕДЕНИЕ

Ионизационные камеры, пропорциональные счетчики и счетчики Гейгера–Мюллера — три типа наиболее старых, но применяющихся в настоящее время детекторов ядерного излучения. Каждый из них содержит камеру, наполненную газом, поэтому эти приборы называются *газонаполненными детекторами*.

Рассмотрим особенности действия этих счетчиков. На рис. 3 изображена схема включения газонаполненного детектора с центральным электродом 1, изолированным от стенок камеры 2. Разность потенциалов U приложена между стенками и собирающим электродом через сопротивление R . Предположим, что ядерная частица создала в камере N пар ионов. Положительные и отрицательные заряды движутся внутри камеры по направлению к ее стенкам и к собирающему электроду в соответствии с направлением электрического поля. На рис. 4 показана зависимость величины заряда Q , появляющегося на электродах при прохождении через камеру

одной частицы, от напряжения U . Кривые относятся к случаям, когда частица создает N_1 или N_2 пар ионов, причем $N_2 > N_1$. Эти кривые можно разбить на четыре основных участка. На участке I имеют место два конкурирующих процесса: сбор заряда на электродах камеры и рекомбинация ионов в газовом объеме. При возрастании электрического поля скорость движения ионов увеличивается, вероятность рекомбинации уменьшается и вели-

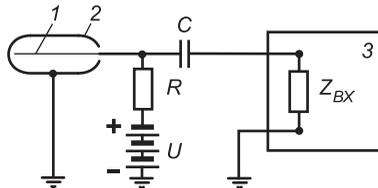


Рис. 3. Схема включения импульсного газонаполненного детектора:

1 — анод; 2 — катод; 3 — регистрирующее устройство

чина заряда, собранного на электродах, растет. При некотором напряжении все ионы, образовавшиеся в процессе ионизации, будут попадать на электроды и величина собранного заряда не возрастает. Наступает насыщение. Этому соответствует горизонтальный участок II.

Участок II кривой называют *областью ионизационной камеры*. На этом участке заряд, собранный на аноде, определяется только ионизационной способностью первичного ионизатора,

а величина заряда равна суммарному заряду электронов, образованных в процессе ионизации, т. е. пропорциональна энергии частицы.

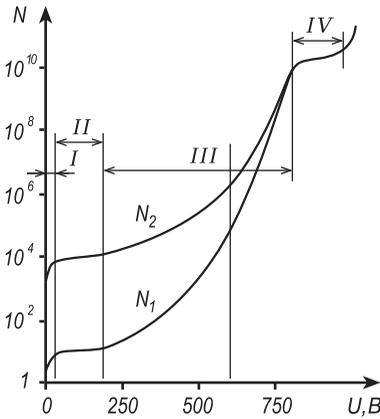


Рис. 4. Зависимость числа собираемых пар ионов от величины приложенного напряжения. Кривая N_1 соответствует регистрации электронов, N_2 — альфа-частицам.

На участке III собранный в камере заряд увеличивается в M раз благодаря газовому усилению. Электроны, созданные в процессе первичной ионизации, ускоряясь, приобретают энергию, достаточную для вторичной ионизации. Суммарный заряд, собираемый на электродах камеры, увеличивается. В начале участка III коэффициент газового усиления не зависит от первоначальной ионизации, и амплитуда импульсов пропорциональна числу пар ионов, созданных заряженной частицей.

Участок кривой, на котором имеется газовое усиление, но сохраняется зависимость между собираемым зарядом и первоначальной ионизацией, называется *пропорциональной областью* и используется при работе пропорциональных счетчиков.

С возрастанием приложенного напряжения эта пропорциональность постепенно нарушается и в конце участка III величина собранного на аноде заряда становится независимой от величины первоначальной ионизации. Верхняя часть участка III называется *областью ограниченной пропорциональности*.

На участке IV собираемый заряд не зависит от первоначальной ионизации. Благодаря газовому усилению заряд возрастает до величины, ограничиваемой характеристиками камеры и внешней цепи. Этот участок называется *областью Гейгера–Мюллера*, а счетчики, работающие в этой области, называются *счетчиками Гейгера–Мюллера*.

Счетчики Гейгера–Мюллера широко применяются для обнаружения и исследования различного рода радиоактивных и других ионизирующих излучений: α - и β -частиц, γ -квантов, световых и рентгеновских квантов, частиц космического излучения и т. д. Нейтроны и γ -кванты регистрируются счетчиками по вторичным ионизирующим частицам: нейтроны по протонам отдачи, γ -кванты по фото- или комптон-электронам и по электронно-позитронным парам. Медленные нейтроны регистрируются по продуктам вызываемых ими ядерных реакций.

Основным достоинством счетчиков, обусловившим их широкое применение, является их высокая эффективность: любая ионизирующая частица, проходящая через счетчик, будет зарегистрирована, если она создаст хотя бы одну пару ионов, которой оказывается достаточно для образования разряда.

Амплитуда импульсов от счетчика обычно по порядку величины равна 1 В. Следовательно, в электронных устройствах не требуется большого числа каскадов усиления. Механизм работы позволяет выполнить их в разнообразных вариантах в зависимости от назначения счетчика. Область применения счетчиков ограничена невозможностью использования счетчика для амплитудного анализа энергии излучения, так как амплитуда импульсов на выходе счетчика, как уже говорилось, не зависит от первоначальной ионизации, вызвавшей этот импульс. Подобные ограничения не свойственны пропорциональным счетчикам и другим детекторам, в которых сигнал на выходе зависит от величины энергии, потерянной частицей в детекторе.

§ 1. ПРИНЦИП РАБОТЫ СЧЕТЧИКА

Устройство. Счетчик представляет собой газоразрядный объём с сильно неоднородным электрическим полем. Чаще всего применяются счетчики с коаксиально расположенными цилиндрическими электродами: внешний цилиндр — катод и нить диа-

метром $\sim 0,1$ мм, натянутая на его оси — анод. Внутренний, или собирающий, электрод (анод) укреплен на изоляторах. Этот электрод обычно изготавливают из вольфрама, позволяющего получить прочную и однородную проволоку малого диаметра. Другой электрод (катод) составляет обычно часть оболочки счетчика. Если стенки трубки стеклянные, ее внутреннюю поверхность покрывают проводящим слоем (медь, вольфрам, нихром и т. д.).

Электроды располагаются в герметически замкнутом резервуаре, наполненном каким-либо газом (гелий, аргон и др.) до давления от нескольких сантиметров до десятков сантиметров ртутного столба. Для того, чтобы перенос отрицательных зарядов в счетчике осуществлялся свободными электронами, газы, используемые для наполнения счетчиков, должны обладать достаточно малым коэффициентом прилипания электронов (как правило, это благородные газы).

Для регистрации частиц, обладающих малым пробегом (α -частицы, электроны), в резервуаре счетчика делается окно, через которое частицы попадают в рабочий объем.

На рис. 5 приведены некоторые типичные конструкции счетчиков Гейгера–Мюллера.

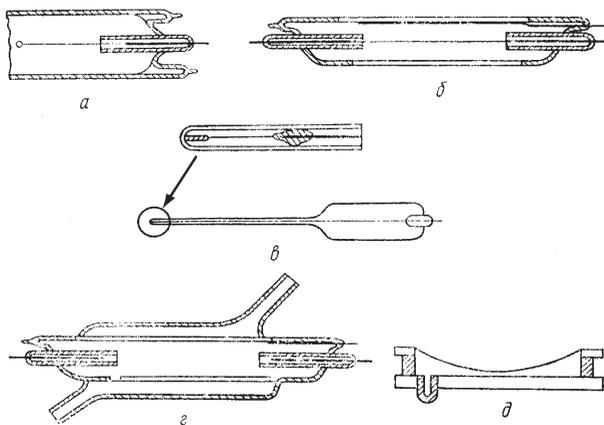


Рис. 5. Различные типы счетчиков Гейгера–Мюллера: а — торцевой, б — цилиндрический, в — игольчатый, г — счетчик с рубашкой, д — плоскопараллельный

Схема включения показана на рис. 3. Напряжение между собирающим электродом и катодом счетчика подается от высоковольтного источника питания. Приведенная схема имеет то преимущество, что катод счетчика поддерживается под потенциалом земли. Собирающий электрод имеет высокий положительный потенциал относительно земли. Конденсатор C разделяет высоковольтную цепь питания счетчика и входную цепь электронной схемы. Сопротивление R , включенное последовательно с источником питания, отделяет собирающий электрод от источника питания. Благодаря этому сопротивлению потенциал нити во время разряда снижается. Величина сопротивления ($R \sim 10^8 \div 10^9$ Ом) подбирается таким образом, чтобы можно было поддерживать пониженное напряжение на аноде до тех пор, пока положительные ионы не дойдут до катода и нейтрализуются на нем.

Счётная характеристика дает зависимость скорости счета от приложенного напряжения при неизменной интенсивности ионизирующего излучения (рис. 6). Для правильно выбранных рабочих условий эта картина имеет горизонтальный участок, называемый „плато“, протяженностью в несколько сот вольт с небольшим наклоном (обычно несколько процентов на 100 В). Напряжение начала счета (порог счета) соответствует минимальным амплитудам импульсов, пропускаемых дискриминатором регистрирующего устройства. Величина этого напряжения зависит от многих причин, главными из которых являются диаметр нити анода, род газов (входящих в состав смеси), давление газа. На начальном участке счетной характеристики быстрый рост числа импульсов объясняется тем, что счетчик работает в области ограниченной пропорциональности, где возникновение разряда в счетчике зависит от числа первоначально образованных пар ионов.

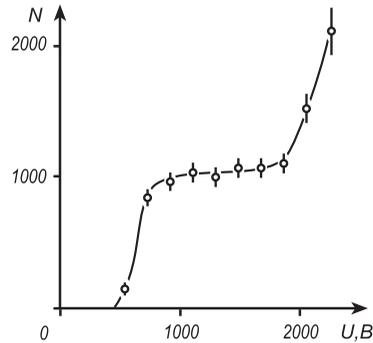


Рис. 6. Счетная характеристика счетчика Гейгера–Мюллера

Начиная с некоторого напряжения, скорость счета практически не зависит от приложенного напряжения, так как здесь каждая ионизирующая частица вызывает импульс с достаточной для регистрации амплитудой (для вспышки разряда достаточно одной пары ионов). Скорость счета здесь определяется числом актов ионизации, происходящих в рабочем объеме счетчика.

Очевидно, что количественно правильная регистрация излучения может производиться только со счетчиками, имеющими плато. Наличие последнего выясняется путем снятия счетной характеристики. Полученная счетная характеристика позволяет судить о величине рабочего напряжения, протяженности и наклоне плато.

Рабочее напряжение, протяженность и наклон плато зависят от природы газа, наполняющего счетчик, а для данного газа от его давления и конструкции счетчика (диаметр катода, толщина нити анода). При повышении давления газа рабочее напряжение, как правило, увеличивается. Рабочее напряжение галогенных счетчиков равно, обычно, 300–400 В, а для счетчиков, не имеющих галогенной добавки, оно составляет 800 В и выше. Причинами наклона плато является наличие вторичных электронов, создающих ложные импульсы, и изменение чувствительного объема счетчика с ростом напряжения. Рабочее напряжение выбирается в промежутке до *середины* плато.

Механизм разряда в несамогасящемся счётчике Гейгера–Мюллера. При возникновении в рабочем объеме счетчика ионов и электронов они начинают двигаться под действием электрического поля к электродам. Электроны, двигаясь к нити, попадают в область с большой напряженностью электрического поля, где они приобретают скорости, достаточные для возбуждения и ударной ионизации атомов газа, с которыми они сталкиваются.

Каждый электрон на своем пути к аноду создает некоторое количество пар ионов и возбужденных атомов. Если каждый электрон создает лавину из m электронов (в среднем), то при начальном числе пар n ионов первая лавина, приходящая на анод счетчика, состоит уже из nm электронов. В то же время возбужденные атомы и молекулы газа высвечиваются, испуская фотоны (в том числе и в ультрафиолетовом диапазоне). Если каждый электрон на своем пути к аноду создаст μ возбужденных ато-

мов газа, то будет испущено $n\mu$ фотонов. Некоторая доля этих фотонов попадет на катод счетчика и вырвет с его поверхности фотоэлектроны. Положительные ионы также могут вырывать с поверхности катода электроны. Среднее число электронов, вырванных с поверхности катода, обозначим как $n\alpha$. Эти электроны, двигаясь от катода к аноду, создают вторую лавину из $n\alpha m$ электронов, а из катода вырывается фотонами новая партия из $n\alpha^2$ электронов и т. д. Через разрядный промежуток счетчика проходит последовательная серия электронных лавин

$$N = nm + \alpha nm^2 + \alpha^2 nm^3 + \dots = nm(1 + \alpha m + \alpha^2 m^2 + \dots). \quad (2.1)$$

В гейгеровской области $\alpha > 1$. Ток электронов, протекающий через счетчик, сразу же после возникновения первичной ионизации, начинает возрастать по экспоненциальному закону:

$$i = i_0 \exp(t/\tau), \quad (2.2)$$

где τ — время движения электронов к аноду ($\tau \sim 10^{-8} \div 10^{-7}$ с). Так как положительные ионы в объеме счетчика (число их равно числу электронов) движутся значительно медленнее электронов, в разрядном промежутке быстро образуется большой положительный объемный заряд. Распределение поля между анодом и катодом изменяется, и коэффициент α делается приблизительно равным или меньше единицы.

Возрастание тока в счетчике прекращается. Он достигает своего максимального значения $i = (U - U_Z)/R_C$, где U_Z — начальный потенциал зажигания газового разряда (для несамогасящихся счетчиков среднего размера $U_Z = 500 \div 1000$ В); R_C — внутреннее сопротивление газоразрядного промежутка, зависящее от величины счетчика, отношения диаметров анода и катода, сорта газа и давления ($R_C \sim 10^6 \div 10^7$ Ом). Такой счетчик, очевидно, не пригоден для работы, так как способен зарегистрировать только одну частицу. Необходимо принять специальные меры для гашения разряда, для того чтобы счетчик мог регистрировать другие попадающие в счетчик частицы.

§ 2. ГАШЕНИЕ РАЗРЯДА

Внешняя схема гашения разряда. В газонаполненных счетчиках положительные ионы проходят весь путь до катода

и нейтрализуются вблизи него, вырывая электроны из металла. Эти дополнительные электроны могут привести к возникновению следующего разряда, если не принять мер для его предупреждения и гашения.

К гашению разряда в счетчике, изображенном на рис. 3, приводит включение в цепь анода счетчика сопротивления R , имеющего величину $\sim 10^9$ Ом. При наличии такого сопротивления разряд в счетчике прекращается, когда напряжение между анодом и катодом снижается из-за собирания электронов на аноде до величин, меньших тех, которые необходимы для поддержания разряда. Это происходит благодаря тому, что постоянная времени входной цепи много больше времени собирания положительных ионов. Существенным недостатком такой схемы является низкая временная разрешающая способность, порядка 10^{-3} с и более.

Самогасящиеся счётчики. В настоящее время несогасящиеся счетчики применяются редко, так как разработаны хорошие самогасящиеся счетчики. Очевидно, чтобы прекратить разряд в счетчике, необходимо устранить причины, которые поддерживают разряд после прохождения ионизирующей частицы через объем счетчика. Таких причин две. Одна из них — ультрафиолетовое излучение, возникающее в процессе разряда. Фотоны этого излучения играют двойную роль в процессе разряда. Их положительная роль в самогасящемся счетчике — распространение разряда вдоль нити счетчика, отрицательная роль — вырывание фотоэлектронов из катода, приводящее к поддержанию разряда. Другой причиной возникновения вторичных электронов с катода является нейтрализация на катоде положительных ионов. В нормально работающем счетчике разряд должен обрываться на первой лавине.

Наиболее распространенный способ быстрого гашения разряда состоит в добавлении к основному газу, наполняющему счетчик, другого газа, способного гасить разряд. Счетчик с таким наполнением называется *самогасящимся*. Так, при наполнении счетчика к инертным газам добавляют некоторые органические многоатомные газы с низкими ионизационными потенциалами и малыми коэффициентами прилипания электронов (например, пары спирта). Молекулы подобных газов поглощают ультрафиолетовое излучение, сопровождающее разряд, а при столкновении с положительными ионами инертных газов нейтрализуют и пере-

водят их из возбужденных состояний в основное (энергия ионизации аргона 15,7 эВ, паров спирта 11,3 эВ). В результате на катод счетчика поступают не ионы инертных газов, а ионы органических молекул, обладающие меньшей энергией. При подходе к поверхности катода ионы органических молекул (в дальнейшем спирта) нейтрализуются. Остаток энергии молекула спирта могла бы отдать двумя способами: испустить фотон или затратить энергию на вырывание электрона. Однако ни того ни другого не происходит, потому что время жизни возбужденной молекулы спирта, до того как она диссоциирует, всего лишь 10^{-13} с. Время жизни по отношению к излучению составляет 10^{-7} с, а время, необходимое для того, чтобы ион подошел к катоду на расстояние, достаточное для вырывания электрона, $\sim 10^{-12}$ с. Из этого следует, что возбужденная молекула спирта распадается на составные части — отдельные атомы или более мелкие молекулы — значительно раньше, чем успеет испустить фотон или подойти ближе к поверхности катода.

Таким образом, используя органические многоатомные газы, добиваются эффективного гашения разряда после первой лавины.

Галогенные счётчики. В процессе гашения многоатомные молекулы гасящей примеси распадаются на более мелкие молекулы (молекулы спирта распадаются на молекулы ацетилен, метана, кислорода и др.). В счетчике средних геометрических размеров имеется около 10^{20} молекул спирта. Так как при каждом разряде в таком счетчике диссоциирует $\sim 10^{10}$ ионов спирта, то через 10^{10} импульсов все молекулы распадутся. Это приводит к старению счетчика, которое замечается по изменению его свойств, например: увеличению потенциала зажигания разряда, увеличению наклона плато и др.

От этого недостатка свободны *галогенные счетчики*, представляющие собой разновидность самогасящихся счетчиков. В галогенных счетчиках Гейгера–Мюллера к благородному газу добавляется небольшое количество галогена (брома или хлора). Обычно добавляют 0,1% хлора.

Механизм гашения в галогенных счетчиках аналогичен этому же процессу в счетчиках с органическими гасящими смесями с той разницей, что гасящий газ в процессе гашения не расходует. При гашении разряда двухатомные молекулы галогена дис-

социруют, однако благодаря процессу рекомбинации количество галогенного газа все время поддерживается, что удлиняет срок службы счетчика.

Интересным свойством галогенных счетчиков, наполненных неоном, является низкое рабочее напряжение (~ 300 В). Эти низковольтные галогенные счетчики содержат малые примеси аргона и галогена, составляющие примерно по 0,1%.

Достоинством галогенных счетчиков является также возможность включения их в токовый режим. Счетчики в токовом режиме применяются для измерения радиоактивного излучения больших интенсивностей.

§ 3. МЕРТВОЕ ВРЕМЯ СЧЕТЧИКОВ

Частицы, попавшие в счетчик на начальной стадии развития разряда, вообще не регистрируются. Этот промежуток носит название *мертвого времени счетчика* t_m . В течение некоторого промежутка времени, непосредственно следующего за разрядом, электрическое поле в счетчике из-за наличия чехла положительных ионов имеет меньшую величину. Импульсы, которые создаются частицами, попадающими в это время в счетчик, имеют меньшую амплитуду. Интервал времени, необходимый для полного восстановления величины импульса после окончания мертвого времени, называется *временем восстановления* t_B (рис. 7).

Разрешающее время счетной системы τ определяет минимальный промежуток времени, которым должны быть разделены пролеты ядерных частиц через счетчик для того, чтобы они были зарегистрированы отдельно. Типичное значение разрешающего времени порядка 10^{-4} с. Наблюдаемая \dot{n} и истинная \dot{n} (т. е. скорость счета, которая наблюдалась бы в том случае, если бы разрешающее время τ имело бы пренебрежимо малую величину) скорости связаны соотношением

$$\dot{n} = \frac{\dot{n}}{1 - \dot{n}\tau}. \quad (2.3)$$

Разрешающее время счетной системы можно определить экспериментально методом нескольких источников.

В настоящей работе для определения τ применяется установка с несколькими источниками, расположенными по окружности.

Счетчик помещен в центре установки. Производится сравнение скоростей счета отдельных источников с суммарной скоростью счета от тех же источников открытых одновременно.

Предположим \dot{n} — истинная скорость счета, обусловленная i -м источником за вычетом фона ($i = 1, 2, \dots$); \dot{m} — измеренная скорость счета от i -го источника за вычетом фона; \dot{n}_Σ и \dot{m}_Σ — истинная и измеренная суммарные скорости счета от всех источников за вычетом фона. Тогда $\sum \dot{n}_i = \dot{n}_\Sigma$, но

$$\dot{n}_i = \frac{\dot{m}_i}{1 - \dot{m}_i \tau}, \quad \dot{n}_\Sigma = \frac{\dot{m}_\Sigma}{1 - \dot{m}_\Sigma \tau}. \quad (2.4)$$

Пользуясь приближенными равенствами при $\dot{m}_i \tau \ll 1$ и $\dot{m}_\Sigma \tau \ll 1$

$$\frac{\dot{m}_i}{1 - \dot{m}_i \tau} \simeq \dot{m}_i + \dot{m}_i^2 \tau \quad \text{и} \quad \frac{\dot{m}_\Sigma}{1 - \dot{m}_\Sigma \tau} \simeq \dot{m}_\Sigma + \dot{m}_\Sigma^2 \tau \quad (2.5)$$

получаем уравнение

$$\sum_{i=1}^k \dot{m}_i + \tau \sum_{i=1}^k \dot{m}_i^2 = \dot{m}_\Sigma + \dot{m}_\Sigma^2 \tau. \quad (2.6)$$

Окончательно получаем следующее выражение для τ :

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k \dot{m}_i - \dot{m}_\Sigma}{\dot{m}_\Sigma^2 - \sum_{i=1}^k \dot{m}_i^2}. \quad (2.7)$$

Если все измерения проводились за один и тот же интервал времени t , то в вышеприведенной формуле скорости счета \dot{m}_i и \dot{m}_Σ можно заменить на числа сосчитанных импульсов m_i и m_Σ

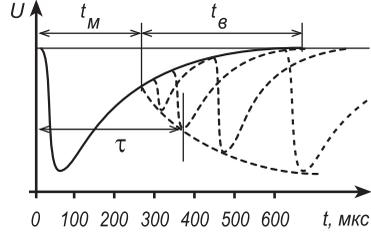


Рис. 7. Мёртвое время t_M , разрешающее время τ и время восстановления $t_в$ типичного счетчика Гейгера-Мюллера: U — потенциал собирающего электрода

за этот интервал времени

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^k m_i - m_{\Sigma}}{m_{\Sigma}^2 - \sum_{i=1}^k m_i^2} t. \quad (2.8)$$

Для увеличения точности в определении величины разрешающего времени необходимо измерить величины m_i и m_{Σ} с хорошей статистической точностью.

Отметим, что погрешность в определении величины τ зависит главным образом от погрешности числителя, который является разностью двух больших и близких по величине чисел. Погрешность знаменателя гораздо меньше и ею можно пренебречь.

§ 4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЧЕТЧИКА

Эффективностью счетчика называется отношение числа зарегистрированных счетчиком частиц к полному числу прошедших через него частиц.

Счетчики Гейгера–Мюллера не обладают 100%-ной эффективностью при регистрации ядерных частиц или γ -квантов. Это обусловлено тем, что частица, прошедшая через счетчик, может не создать даже одной пары ионов (либо ионы продифундируют в нерабочую область). Тем не менее эффективность счетчика к электронам может достигать 99% (и даже 99,9%).

Регистрация γ -лучей осуществляется через посредство быстрых электронов, образующихся при поглощении или рассеянии γ -квантов, в основном в стенках счетчика (незначительно в газе). Эффективность счетчика для γ -лучей зависит от материала стенок (катода) и энергии γ -квантов.

В области энергий 0,1 – 1,5 МэВ, где электроны выбиваются из стенок катода главным образом в результате комптон-эффекта, материал стенок счетчика мало влияет на эффективность, так как пробег электронов приблизительно обратно пропорционален атомному номеру Z , а сечение комптон-эффекта прямо пропорционально Z .

В области больших энергий, где основным процессом поглощения γ -квантов является образование электронно-позитронных

пар, выгодно изготовлять стенки счетчика из материала с большим Z , так как сечение образования пар пропорционально Z^2 .

Эффективность регистрации γ -лучей обычно составляет $\sim 1\%$.

§ 5. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

Часть 1. Сборка и исследование счетчика Гейгера-Мюллера. Необходимо собрать счетчик и исследовать зависимость его характеристик (напряжение начала счета, протяженность и наклон плато, мертвое время и время восстановления) от величины нагрузочного сопротивления и отношения „спирт/воздух“ в его рабочем объеме.

Работа выполняется на установке, изображенной на рис. 8. Установка состоит из вакуумной камеры 1, в которой устанавливается счетчик и которая может наполняться смесью спирта с воздухом в различных пропорциях, источника высокого напряжения 3, пересчетного прибора 4. На плате 2 крепятся нагрузочное сопротивление R и переходная емкость C . Мертвое время и время восстановления счетчика можно определить с помощью осциллографа 5.

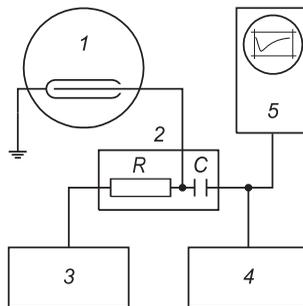


Рис. 8. Блок-схема лабораторной установки, часть 1

Задание 1. Используя вольфрамовую нить, медный цилиндр и изоляторы, собрать счетчик и установить его в вакуумной камере.

Задание 2. На плате собрать переходную цепочку и соединить её со счетчиком и другими приборами. Затем откачать воздух из камеры до 5—10 мм рт. ст., после чего впустить немного паров спирта и воздуха. При установившемся давлении смеси плавно увеличивать напряжение U и определить пороговое значение $U_{\text{порог}}$, при котором обнаруживаются импульсы. Затем изучить зависимость скорости счета N от напряжения U . Измерения в каждой точке надо производить по 2 раза со статистической точностью не хуже 5%. В рабочей точке определить мертвое время и время восстановления счетчика.

Повторить задание 2 для других значений нагрузочного сопротивления и других отношений „спирт/воздух“.

Задание 3. Снять зависимость $U_{\text{порог}}$ от давления воздуха в рабочем объёме счётчика. Для этого напускать постепенно воздух в камеру и, изменяя напряжение на счетчике, определять пороговое значение $U_{\text{порог}}$, при котором обнаруживаются импульсы.

В отчете представить блок-схему установки с описанием опытов, результаты опытов в виде таблиц и графиков, зарисовки импульсов с экрана осциллографа, выводы.

Часть 2. Определение разрешающего времени и величины просчетов счетчика Гейгера-Мюллера.

Разрешающее время может быть определено следующим способом. Определяется фон счетчика $N_{\text{ф}}$ при закрытых источниках. Затем измеряется счет от каждого источника в отдельности и от источников, открытых одновременно (сначала от 1-го и 2-го источников, затем от 1-го, 2-го и 3-го и т. д.). Результаты измерений представляют в следующей таблице:

№ источника	Счёт от каждого источника в отдельности		Счёт, который был бы при простом суммировании импульсов		Суммарный счёт, наблюдавшийся при комбинациях источников		Вычисленное значение, τ_k (с)	Погрешность, $\Delta\tau_k$ (с)
	Счёт M_i	Счёт за вычетом фона $m_i = M_i - N_{\text{ф}}$	Комбинации источников	$\sum m_i$	Счёт M^{Σ}	Счёт за вычетом фона $m^{\Sigma} = M^{\Sigma} - N_{\text{ф}}$		
1			—	—	—	—	—	—
2			1 + 2					
3			1 + 2 + 3					
4			1 + 2 + ... + 4					
5			1 + 2 + ... + 5					
6			1 + 2 + ... + 6					

Для каждого случая вычисляют τ_k по формуле (2.7) или (2.8) и определяют погрешность $\Delta\tau_k$. В качестве погрешности определения числа сосчитанных импульсов можно взять статистическую погрешность. Полученные значения τ_k надо усреднить с учетом веса каждого измерения. Вес находится по формуле

$$p_k = \frac{1}{\Delta\tau_k^2}. \quad (2.9)$$

Средневзвешенное значение определяется как

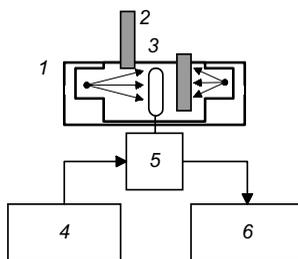
$$\tau = \frac{\sum_k \tau_k p_k}{\sum_k p_k}. \quad (2.10)$$

В качестве погрешности результата можно взять среднюю статистическую погрешность

$$\Delta\tau = \frac{1}{\sqrt{\sum_k p_k}}. \quad (2.11)$$

Величина просчетов определяется из графика просчетов. Следует построить график (с одинаковым масштабом по осям координат) зависимости суммарного счета m_Σ от числа отсчетов, которые должны были бы получиться в результате простого суммирования счета от источников. Величина просчета определяется по отклонению соответствующей ординаты от точки на прямой с наклоном в 45° .

Блок-схема лабораторной установки показана на рис. 9. Несколько радиоактивных источников находятся в свинцовой защите 1. Свинцовые заслонки 2 в опущенном состоянии полностью поглощают ионизирующее излучение. Когда одна или несколько заслонок подняты, счетчик 3 регистрирует радиоактивное излучение. Высокое напряжение на счетчик подается с блока 4. Через формирователь 5 импульсы поступают на пересчётный прибор 6.



Задание 1. Изучение счётной характеристики счетчика.

Поднять свинцовую заслонку одного из источников и, плавно увеличивая напряжение U , найти пороговое значение, при котором обнаруживаются импульсы. Затем изучить зависимость скорости счета N от напряжения. Измерения в каждой точке производить 2–3 раза со статистической точностью не хуже 3–4%,

Рис. 9. Блок-схема лабораторной установки, часть 2

одновременно строить график зависимости $N = f(U)$. При возрастании скорости счета на 30% относительно скорости счета на «плато» прекратить увеличение напряжения во избежание непрерывного разряда в счетчике. По графику $N = f(U)$ выбрать рабочую точку.

Задание 2. Определение разрешающего времени и величины просчетов. Все измерения производят при напряжении, соответствующем рабочей точке счетчика. Измерения фона надо производить до и после опыта, за окончательное значение фона принимают среднее двух измерений. При обработке результатов не забывать вычитать фон счетчика!

Отчет должен содержать блок-схему установки, результаты измерений в виде таблиц и графиков, значения напряжения начала счета, напряжения рабочей точки, протяженности и наклона плато, значения величин разрешающего времени и просчетов, выводы.

§ 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Устройство счетчика Гейгера–Мюллера.
2. Процесс развития разряда в газонаполненном счетчике. Зависимость числа собираемых пар ионов от напряжения, приложенного к счетчику.
3. Регистрация заряженных частиц ионизационной камерой.
4. Регистрация заряженных частиц пропорциональными счетчиками.
5. Регистрация заряженных частиц счетчиком Гейгера–Мюллера.
6. Какими газами наполняются газоразрядные счетчики и почему выбираются именно эти газы?
7. Способы гашения разряда в счетчике Гейгера–Мюллера.
8. Схема включения счетчика Гейгера–Мюллера. Как выбирается величина гасящего сопротивления?
9. Мертвое время и время восстановления счетчика Гейгера–Мюллера. Разрешающее время. Формула связи между истинным и наблюдаемым счетом.
10. Достоинства и недостатки счетчика Гейгера–Мюллера.

Литература

1. В.О.Сергеев, «Практикум по ядерной физике», Спб, 2006
2. С.Корф, «Счетчики заряженных частиц и электронов» М., ИЛ, 1947.
3. В.Векслер, Л.Грошев, Б.Исаев, «Ионизационные методы исследования излучений» 2 изд. М. - Л., ГИТТЛ, 1950.
4. Э.Фюнфер, Г.Нойерт, «Счетчики излучений» М., Госиздат, 1961.
5. А.И.Абрамов, Ю.А.Казанский, Е.С.Матусевич, «Основы экспериментальных методов ядерной физики» М., Энергоиздат, 1985