

Работа 5.20

Изучение работы счетчика Гейгера — Мюллера

Оборудование: счетчик Гейгера — Мюллера, электростатический вольтметр, декатронный счетчик, электрическая схема управления, источник радиоактивного излучения.

Введение

В основе всех методов выявления излучения, возникающего при естественной или искусственной радиоактивности, при ядерных реакциях, космических лучей, световых и рентгеновских квантов лежит явление взаимодействия излучения с веществом. Различают *первичные и вторичные взаимодействия*. Первичные взаимодействия вызываются частицами, владеющими электрическим зарядом; вторичные — нейтральными частицами, световыми, рентгеновскими и γ -квантами. Заряженные частицы (α -частицы, электроны, протоны, позитроны и др.) при прохождении через вещество отдают свою кинетическую энергию непосредственно электронам излучающего вещества и создают вторичные электроны, т. е. вызывают ионизацию молекул.

Нейтральные частицы следов не оставляют, но они могут быть зафиксированы по ионизации, вызванной возникающими при этом заряженными частицами. Например, при взаимодействии нейтронов с веществом могут возникать протоны отдачи и другие заряженные частицы.

γ -лучи в зависимости от их жесткости приводят к возникновению фотоэлектронов, комптоновских электронов и электронно-позитронных пар. Вторичные заряженные частицы вызывают такое же взаимодействие, как и первичное излучение: они передают свою кинетическую энергию электронам вещества, которое при этом облучается, и создают третичные электроны.

В зависимости от свойств вещества и энергии излучения вторичные электроны (при первичном взаимодействии) или третичные электроны (при вторичном взаимодействии) оставляют атомы и молекулы, в состав которых они раньше входили, или остаются в них и возвращаются в основное состояние с излучением лишней энергии. Все детекторы излучения, которые в настоящее время используются, по своему принципу действия основаны на первичном или вторичном взаимодействии. Широкое применение получили детекторы, действие которых основано на ионизации газа, в частности *счетчики Гейгера — Мюллера*. Газоразрядные счетчики Гейгера — Мюллера широко применяются благодаря их высокой чувствительности, возможности регистрации разных излучений, значительной величине выходного сигнала и сравнительно простому строению.

Существуют разные типы счетчиков, отличающиеся по назначению (α -, β -, γ - счетчики, счетчики протонов и др.) и по конструкции (цилиндрические, торцовые).

Очень распространенным является *цилиндрический счетчик*. Он состоит из цилиндрического корпуса, по оси которого натянута закрепленная на изоляторах тонкая нить. Нить является анодом, катодом служит корпус счетчика. Пространство между электродами заполняется газом при давлении (13 — 26) кПа. Некоторые частицы, а также космическое, рентгеновское и γ -излучения проникают в счетчик непосредственно через стенки корпуса. В *торцовых счетчиках* для проникновения в них ионизирующих частиц в торце счетчика имеется окошко со слюды или из алюминиевой фольги. К электродам счетчика через сопротивление от 10^6 Ом до 10^9 Ом подводится напряжение в несколько сотен вольт.

Если через рабочий объем счетчика пройдет ионизирующая частица, то на пути ее движения возникнут положительные ионы и электроны, которые под действием электрического поля будут двигаться к электродам: электроны — к нити, ионы — к стенкам цилиндра. Во внешней цепи возникнет импульс тока, создающий импульс напряжения на нагрузочном сопротивлении R (рис. 5.52). Этот импульс напряжения можно зафиксировать при помощи усилителя U и счетчика импульсов $СИ$.

Величина импульса тока, возникающего в счетчике под действием заряженной частицы, зависит от напряжения, которое подается на электроды. График зависимости $I = f(U)$ для двух различных значений начальной ионизации показаны на рис. 5.50.

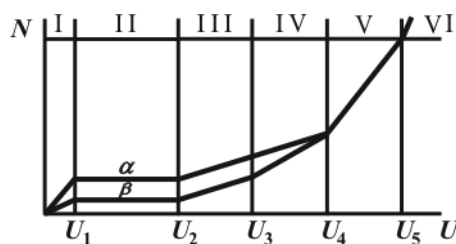


Рис. 5.50

Верхняя кривая соответствует большей начальной ионизации, вызванной α -частицей, нижняя — меньшей ионизации, вызванной β - частицей. Вся кривую можно разделить на шесть областей, которые на рисунке обозначены римскими цифрами.

При очень низких напряжениях (область I) положительные ионы и электроны, возникающие в газе между анодом и катодом под воздействием заряженных частиц, двигаются к электродам так медленно, что часть из них успевает рекомбинировать раньше, чем достигнет электродов.

С увеличением напряжения количество рекомбинирующих ионов уменьшается и импульс быстро возрастает. При некотором напряжении U_1 все ионы и электроны достигают электродов. При дальнейшем увеличении напряжения от U_1 до U_2 (область II) величина импульса тока остается

неизменной, т. е. наступает *насыщение*. Величина импульса тока насыщения зависит от интенсивности ионизатора. Если напряжение на счетчике превышает величину U_2 , напряженность электрического поля возрастает настолько, что электроны приобретают скорость, достаточную для того, чтобы вызвать ионизацию молекул газа, вследствие чего вместо первичных N ионов возникает kN ионов. Число k называют *коэффициентом газового усиления*.

Коэффициент газового усиления показывает, во сколько увеличивается импульс тока в сравнении с импульсом тока насыщения. Он может достигать величины 10^7 .

В интервале напряжений на счетчике от U_2 до U_3 коэффициент k не зависит от начального числа ионов, поэтому в области *III* импульс тока пропорционален числу первичных пар ионов. Счетчик, работающий в этом режиме, называется *пропорциональным счетчиком*.

Характерной особенностью пропорциональных счетчиков является то, что разряд в них исчезает сразу после прекращения действия внешней ионизации. Такой тип разряда называется *несамостоятельным разрядом*.

При увеличении напряжения выше U_3 коэффициент газового усиления уже зависит от величины начальной ионизации. Поэтому область *IV* называют *областью ограниченной пропорциональности*.

В области *V* величина импульса тока уже не зависит от величины начальной ионизации, т. е. электрическое поле настолько большое, что счетчик переходит в режим *самостоятельного разряда*. В этой области после того, как перестает действовать внешний ионизатор, разряд не останавливается и для его погашения необходимы особые меры. Область напряжений $U_4 — U_5$ называется *областью Гейгера*, а счетчики, работающие в этом режиме — *счетчиками Гейгера — Мюллера*. Такие счетчики не могут применяться для непосредственного измерения ионизирующего действия излучения, но они обладают очень большой чувствительностью: достаточно, чтобы в счетчике появился хотя бы один электрон, и в нем рождается электронная лавина, а во внешней цепи возникает импульс тока.

Поэтому счетчики Гейгера — Мюллера используются для подсчета числа ионизирующих частиц и квантов электромагнитного излучения. Если напряжение на счетчике увеличить до U_5 (область *VI*), то наступает непрерывный разряд, в результате которого счетчик выходит из строя. Счетчики с самостоятельным разрядом в зависимости от того, каким газом они заполнены, бывают *несамогасящиеся* и *самогасящиеся*. В *несамогасящихся* счетчиках гашение разряда достигается включением в цепь высокоомного сопротивления и емкости. Импульс тока, проходящего через это сопротивление, вызывает возникновение на нем падения напряжения, что приводит к уменьшению напряжения на счетчике и

гашению разряда. В самогасящихся счетчиках быстрое прекращение разряда достигается использованием смеси одноатомного и многоатомного газов, например, аргона с парами метилового спирта. Десятипроцентное добавление паров спирта к основному газу приводит не только к гашению разряда, но и к уменьшению его длительности (примерно в 100 раз). Аналогично с парами спирта в качестве добавок в самогасящихся счетчиках используются галогены (хлор или бром). Галогенные счетчики отличаются более низким *рабочим напряжением* (300 — 400 В), большим сроком работы и высокой скоростью подсчета импульсов (до 10^6 имп/мин).

Свойства счетчика Гейгера — Мюллера, как измерительного прибора, определяются его счетной или рабочей характеристикой. *Счетной характеристикой* называют кривую, выражающую зависимость числа разрядов N в счетчике за единицу времени от величины напряжения U на нем. Эта характеристика имеет вид кривой с широким, почти горизонтальным участком, который называется *плато* (рис. 5.51).

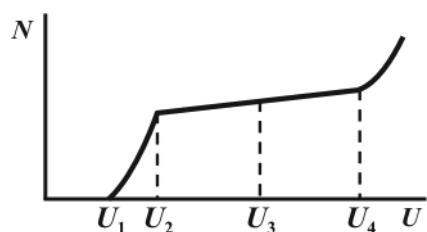


Рис. 5.51

Как видно из рисунка, при напряжениях, меньших U_1 , счетчик ничего не регистрирует (импульсы очень слабые и не регистрируются счетной установкой).

Напряжение U_1 , при котором счетчик начинает считать, называется *напряжением начала отсчета* или *напряжением зажигания счетчика*. Величина этого напряжения зависит от многих причин, главными из которых являются диаметр нити анода, род газа и его давление. При изменении напряжения U от U_1 до U_2 скорость счета быстро увеличивается. Объясняется это тем, что счетчик работает в области ограниченной пропорциональности, где не каждая частица, попадающая в счетчик, вызывает самостоятельный разряд.

Начиная с напряжения U_2 , счетчик регистрирует все частицы, попадающие в него, и вызывающие в нем хотя бы одну пару ионов. При увеличении напряжения до значения U_4 скорость счета почти не изменяется. Величину *рабочего напряжения* U_3 обычно выбирают на середине плато. При напряжениях на счетчике, больших U_4 , разряд в счетчике не гаснет. Качество работы счетчика зависит от величины плато и его наклона. Чем большая длина плато и меньше его наклон, тем лучше счетчик.

Каждый счетчик владеет фоном. *Фоном* называют число импульсов, регистрируемых счетчиком при отсутствии его облучения. Наличие фона обусловлено космическим излучением, радиоактивным загрязнением воздуха в помещении и стенок счетчика.

Важной характеристикой счетчика является *разрешающее время*. Гашение разряда в счетчике происходит в течение времени (0,1 — 1) мс. В это время счетчик не регистрирует частицы. Вызвано это тем, что скорость перемещения положительных ионов примерно в 1000 раз меньше скорости перемещения электронов, и за время создания электронных лавин ионы практически остаются на месте. В результате вокруг нити счетчика возникает цилиндрический слой положительных ионов, уменьшающих напряженность поля около нее. Частица, попадающая в это время в счетчик, не вызывает возникновения импульса тока. Счетчик не считает до того времени, пока положительные ионы не станут находиться от нити на таком расстоянии, при котором напряженность поля около нити снова будет иметь первоначальное значение. Время, на протяжении которого ионы переместятся от нити на такое расстояние, называется «*мертвым временем*» счетчика. Величина, обратная «мертвому времени», называется *разрешающей способностью* счетчика. Таким образом, *разрешающим временем* счетчика называется минимальный промежуток времени между двумя последовательными попаданиями частиц или γ -квантов, которые могут быть зарегистрированы

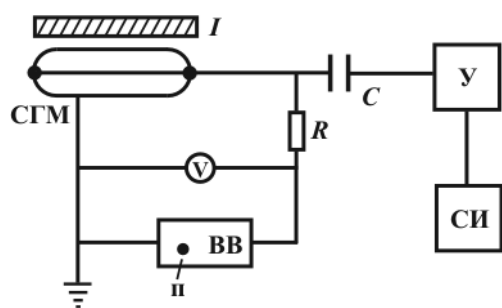


Рис. 5.52

отдельно. Разрешающая способность счетчика определяет максимальное число частиц, которые может зарегистрировать счетчик за единицу времени. Если за 1 с на счетчик падает N частиц, то он регистрирует только часть из них n , потому что после каждой частицы есть «мертвое время» (τ). Общее «мертвое время» $\Delta t = n\tau$. Если бы счетчик работал непрерывно, то за время Δt он зарегистрировал бы $N\Delta t$ частиц. Поэтому истинное число частиц $N = n + N\Delta t$, откуда $N = n/(1 - n\tau)$. Это отношение позволяет ввести поправку на просчет, если известно «мертвое время» τ . Для счетчиков Гейгера — Мюллера оно справедливо при скоростях счета вплоть до 20000 имп/мин.

Описание установки. В работе используется счетчик Гейгера — Мюллера СГМ (рис. 5.52). Величина напряжения, подаваемого на счетчик, регулируется потенциометром П, ручка которого выведена на переднюю панель прибора ВВ. Импульсы, возникающие в счетной трубке, после предварительного усиления усилителем У поступают на вход декаэлектронного счетчика импульсов СИ. Источником частиц является радиоактивное вещество I.

Порядок выполнения работы

1. Включите тумблер «сеть» прибора BB , при этом засветится индикаторная лампочка. Включите декаэлектронный счетчик $СИ$ и кнопкой «сброс» установите его в нулевое положение.
2. Ручкой потенциометра $П$ постепенно увеличивайте напряжение на счетчике Гейгера — Мюллера и определите момент его срабатывания U_1 (начало регистрации импульсов декаэлектронным счетчиком).
3. При напряжении U_1 определите число импульсов N_1 , регистрируемых декаэлектронным счетчиком за 2 минуты.
4. Выполните аналогичные измерения числа импульсов через каждые 20 В до напряжения, при котором разряд становится непрерывным (580 В).
5. Постройте график зависимости $N(U)$, определите величину плато и рабочее напряжение счетчика $U_{\text{раб}}$.
6. Определите фон счетчика $N_{\text{ф}}$. Для этого удалите источник излучения (I) от установки, подайте на счетчик рабочее напряжение и измерьте число импульсов за 2 минуты.
7. Результаты измерений запишите в таблицу:

| № п/п | $U, \text{В}$ | N | $U_{\text{раб}}$ | $N_{\text{ф}}$ |
|-------|---------------|-----|------------------|----------------|
|-------|---------------|-----|------------------|----------------|



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните устройство счетчика Гейгера — Мюллера.
2. Дайте характеристику различным режимам работы счетчика.
3. Почему счетчики Гейгера — Мюллера не могут быть непосредственно использованы для измерения ионизирующего излучения?
4. Можно ли с помощью счетчика Гейгера — Мюллера определить энергию частицы? Почему?
5. Каким образом достигается гашение разряда в несамогасящихся счетчиках?
6. Каким образом достигается гашение разряда в самогасящихся счетчиках?
7. Объясните рабочую характеристику счетчика.
8. Что называют фоном счетчика?
9. Чем обусловлено «мертвое время» счетчика?
10. Почему при определении «мертвого времени» счетчика используют радиоактивный препарат сравнительно высокой активности?

