

## 1.2 Ионизационная камера

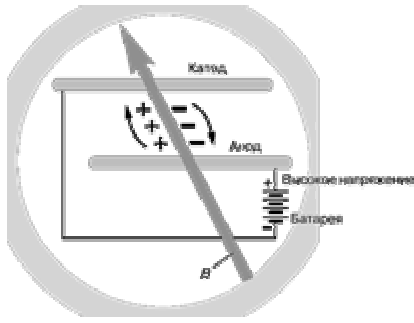


Схема ионизационной камеры, которая собирает ионы, возникающие в результате ионизации газа. На два проводящих электрода, катод и анод, подано высокое напряжение. Частица, пролетающая сквозь газ, создает ионы, при этом положительные ионы движутся к катоду, а отрицательные — к аноду.

*Ионизационная камера, прибор для исследования и регистрации ядерных частиц и излучении, действие которого основано на способности быстрых заряженных частиц вызывать ионизацию газа.*

### 1.2.1 Принципы работы и основные характеристики

Ионизационной камерой измеряют или ионизационный ток, или заряды электричества, возникающие в газовом объеме. Для разделения разноименных зарядов к газовому объему прикладывают определенную разность потенциалов. Электрическое напряжение подают на элементы ионизационной камеры, называемые электродами. Они ограничивают рабочий объем ионизационной камеры, т.е. тот объем газа, через который протекает ионизационный ток. Напряжение на электродах каждой конкретной ионизационной камеры обуславливается конструкцией, давлением и природой газа-наполнителя. Оно должно обеспечивать протекание через газ тока насыщения. При таком напряжении все ионы, образованные ядерным излучением в рабочем объеме, попадают на электроды, а ионизационная камера характеризуется максимальной чувствительностью.

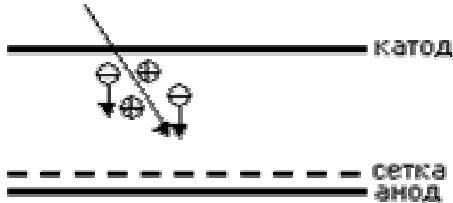


Рис. 3. Схема ионизационной камеры

Под чувствительностью детектора понимают минимальный ионизационный ток, который можно измерить с помощью детектора. Чем выше чувствительность, тем меньшую интенсивность излучения обнаруживает детектор. Высокочувствительными ионизационными

камерами измеряются токи до  $10^{-15}$  А.

Ионизационные камеры работают при напряжениях, соответствующих тихому несамостоятельному разряду в газе (Рис. 2, участки I и II), как правило, в области тока насыщения (участок II). Рабочее напряжение выбирают на середине плато.

При работе ионизационной камеры под напряжением в области плато ток насыщения  $J_n$  изменяется по линейному закону в зависимости от интенсивности излучения  $I$ . Пусть за единицу времени в каждой единице объема газа образуется  $N = bE/\varepsilon$  ионных пар, где  $E$  - энергия частиц,  $b$  — доля энергии частицы, поглощаемая в единице объема газа, а  $\varepsilon$  энергия образования ионной пары. Так как рабочий объем конкретной камеры постоянен, то ток насыщения

$$J_n = aI \quad (1)$$

пропорционален интенсивности излучения  $I$ .

Эту важнейшую закономерность используют при измерении ядерных излучений ионизационной камерой. Измеритель тока можно градуировать не на единицы тока, а на единицы интенсивности излучения, что упрощает обработку результатов измерений.

Прежде чем выяснить особенности газового разряда в ионизационной камере, найдем связь ионизационного тока  $J$  с плотностью ионов  $N$ . Пусть в единице объема газа каждую секунду образуется  $N$  ионных пар. Часть ионных пар,  $\alpha N^2$ , рекомбинирует, а другая часть,  $N - \alpha N^2 = N(1 - \alpha N)$ , собирается на электродах. Умножив последнее произведение на элементарный заряд  $e$  и рабочий объем  $V$ , получим связь тока  $J$  с током насыщения  $J_n = eNV$ , плотностью ионов  $N$  и коэффициентом рекомбинации  $\alpha$  в областях закона Ома и тока насыщения:

$$J = J_n(1 - \alpha N). \quad (2)$$

Ионизационный ток представляется как произведение двух сомножителей. Первый сомножитель  $J_n$  является током насыщения. Он протекает в газе, если ионы не рекомбинируют, и пропорционален плотности ионов  $N$ . Второй сомножитель  $(1 - \alpha N)$  равен доле ионов, попадающих из газа на электроды. Он зависит как от коэффициента рекомбинации  $\alpha$ , так и от плотности ионов  $N$ . Если при постоянном коэффициенте  $\alpha$  увеличивать плотность ионов  $N$ , то будет возрастать не только ток  $J_n$ , но и рекомбинация ионов. Поэтому плотность ионов влияет двояко на ток  $J$ : она способствует возрастанию тока  $J$ , а вместе с тем и тормозит это возрастание. От степени влияния каждого процесса зависит изменение тока  $J$ . С повышением напряжения на электродах уменьшается коэффициент рекомбинации  $\alpha$ , и ток стремится к току насыщения  $J_n$ . В области насыщения почти все ионы собираются на электродах. Однако плато имеет небольшой наклон, так как

коэффициент рекомбинации не равен нулю. Поэтому небольшая доля ионов рекомбинирует. С повышением напряжения доля рекомбинирующих ионов становится меньше, а ток  $J$  на плато немного возрастает.

Плотность ионов  $N$  и коэффициент рекомбинации  $\alpha$  определяются несколькими факторами. Плотность ионов связана с интенсивностью излучения, природой и давлением газа. Коэффициент  $\alpha$  является функцией не только напряжения на электродах, но и свойств газа (природа, давление, температура). Следовательно, ионизационный ток зависит от нескольких величин. При исследовании влияния одной величины на ток  $J$  другие считают постоянными. С ростом интенсивности излучения  $I$  увеличивается плотность ионов  $N$ , а значит, и их рекомбинация. Чтобы уменьшить рекомбинацию, необходимо повышать напряжение. Тогда скорость ионов возрастает, а коэффициент рекомбинации уменьшается. Вследствие этого разность в скобках уравнения (2) стремится к единице, а ионизационный ток - к току насыщения. Изменение скорости рекомбинации ионов с увеличением интенсивности  $I$  сдвигает начало плато в область более высоких напряжений. Так как граница области пропорциональности остается неизменной, то ширина плато укорачивается.

Рабочую точку желательно всегда выбирать на плато, чтобы сохранить пропорциональность ионизационного тока и интенсивности излучения. Однако в ионизационных камерах, помещенных в поле высоких интенсивностей излучения, рекомбинация ионов может быть настолько существенной, что до самой границы области пропорциональности не удается достичь режима насыщения. Область закона Ома в этом случае непосредственно переходит в область пропорциональности, а вольт-амперная характеристика не имеет плато. Плотность молекул газа пропорциональна давлению. Поэтому при различных давлениях ядерное излучение постоянной интенсивности создает неодинаковое количество ионных пар в единице объема. С повышением давления плотность ионов становится больше и рекомбинация ионов увеличивается. Следовательно, с повышением давления увеличивается плотность ионов и уменьшается доля ионов, не участвующих в процессе рекомбинации.

Конкуренцией этих двух эффектов объясняется зависимость ионизационного тока  $J$  от давления (Рис. 4). Сначала ток монотонно возрастает. В небольшом интервале давлений, который является характеристикой каждого газа, ионизационный ток пропорционален давлению  $p$ . Например, для аргона линейность изменения тока  $J$  от давления  $p$  наблюдается в интервале 0,5-1,2 атм, для воздуха - от 1 до 40 атм и т. д. Затем ток  $J$  достигает максимума. При давлении, соответствующем максимуму тока  $J_{\max}$ , изменения скоростей образования и рекомбинации ионов равны по абсолютной величине и противоположны по знаку. После максимума тока рекомбинация ионов становится очень большой. При дальнейшем повышении давления скорость рекомбинации ионов растет быстрее скорости образования ионов, поэтому ионизационный ток начинает монотонно падать. Давление газа изменяет как нижнее, так и верхнее граничные напряжения области насыщения. При повышении давления начальное напряжение становится больше. Однако и верхнее напряжение сдвигается в более высокую область. Электроны в более плотных газах имеют меньший свободный пробег, чем в менее плотных. Энергия, которую получает электрон от электрического поля на свободном пробеге, в первом случае меньше, чем во втором. Чтобы ускорить электрон до энергии, большей энергии ионизации молекул, необходимо более высокое напряжение.

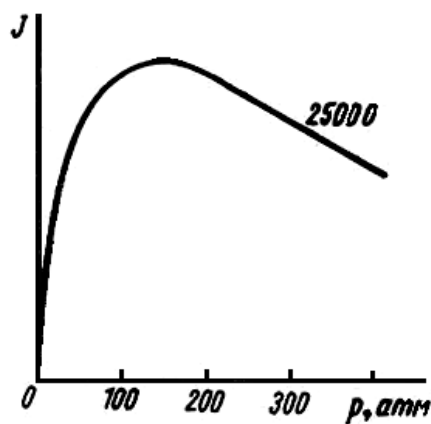


Рис. 4. Зависимость ионизационного тока от давления газа в ионизационной камере.

Количество ионов, образующихся в  $1 \text{ см}^3$  рабочего объема при прочих равных условиях (давлении, интенсивности излучения и т. д.), зависит от природы газа (от плотности атомных электронов газа, равной числу атомных электронов в  $1 \text{ см}^3$  газа, и от энергии образования ионной пары). При одних и тех же давлении и объеме газа ионизационный ток в ионизационной камере, наполненной аргоном ( $Z=18$ ,  $\varepsilon=27$  эВ), выше, чем в ионизационной камере, наполненной азотом ( $Z=7$ ,  $\varepsilon=32$  эВ).

Средняя скорость теплового движения молекул и ионов в газе пропорциональна температуре. Нагревание газа вызывает более интенсивное тепловое движение ионов, и рекомбинация ионов возрастает. В режиме насыщения этот эффект мал, так как скорости движения ионов в направлении электрического поля намного превышают скорость теплового движения.