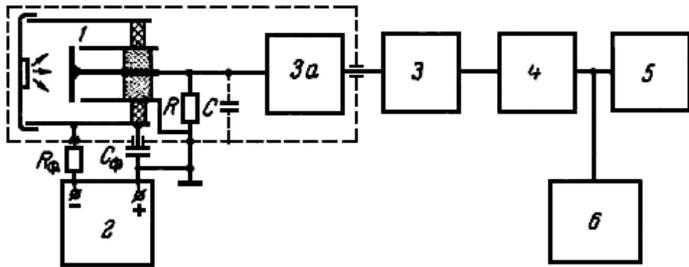


## 1.2.4 Импульсные камеры

В импульсных ионизационных камерах регистрируются и измеряются импульсы напряжения, которые возникают на сопротивлении  $R$  при протекании по нему ионизационного тока, вызванного прохождением каждой частицы. Амплитуда и длительность импульсов зависят от величины  $R$ , а также от ёмкости  $C$ . Для импульсной ионизационной камеры, работающей в области тока насыщения, амплитуда импульса пропорциональна энергии  $E$ , потерянной частицей в объёме ионизационной камеры. Обычно объектом исследования для импульсных ионизационных камер являются сильно ионизирующие короткопробежные частицы, способные полностью затормозиться в межэлектродном пространстве ( $\alpha$ -частицы, осколки делящихся ядер). В этом случае величина импульса ионизационной камеры пропорциональна полной энергии частицы и распределение импульсов по амплитудам воспроизводит распределение частиц по энергиям, т. е. даёт энергетический спектр частиц. Действительно, если частица полностью останавливается в объёме камеры, то по величине собранного заряда (количеству электронов, пришедших на анод) легко определить энергию частицы. Эта энергия равна произведению числа электронов  $n$  на среднюю энергию  $\varepsilon$ , необходимую на образование частицей одной пары электрон-ион (для газа  $\varepsilon \approx 30-40$  эВ). Важная характеристика импульсной ионизационной камеры - её разрешающая способность, т. е. точность измерения энергии отдельной частицы. Для  $\alpha$ -частиц с энергией 5 МэВ разрешающая способность достигает 0,5%.



**Рис. 12.** Схема включения импульсной ионизационной камеры: 1 – ионизационная камера; 2 – высоковольтный источник напряжения; 3 – линейный усилитель с выносным входным блоком (3а); 4 – амплитудный дискриминатор; 5 – регистрирующее устройство; 6 – электронный осциллограф.

В импульсном режиме работы важно максимально сократить время  $\tau$  срабатывания ионизационной камеры. Подбором величины  $R$  можно добиться того, чтобы импульсы ионизационной камеры соответствовали сбору только электронов, гораздо более подвижных, чем ионы. При этом удастся значительно уменьшить длительность импульса и достичь  $\tau \sim 1$  мксек.

**Пример.** Оценить величину тока от  $\alpha$ -частицы с энергией  $E=5$  МэВ, полностью остановившейся в объёме ионизационной камеры (пробег такой  $\alpha$ -частицы в воздухе около 4 см). Оценку сделаем для электронной компоненты тока. Вычислим число электронов, образовавшихся в объёме ионизационной камеры

$$n_e = E/\varepsilon \approx 5 \text{ МэВ}/35 \text{ эВ} \approx 1.5 \cdot 10^5. \quad (3)$$

Это соответствует собранному заряду  $1.5 \cdot 10^5 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}$  Кулон =  $2.4 \cdot 10^{-14}$  Кл. Средняя величина электронного тока  $\langle i_e \rangle$  получается делением  $n_e$  на время сбора электронов  $\tau_e = 10^{-6}$  с:

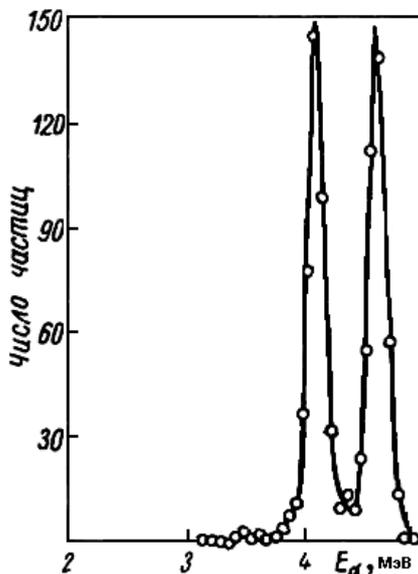
$$\langle i_e \rangle = n_e/\tau_e = 2.4 \cdot 10^{-14} \text{ Кл}/10^{-6} \text{ с} = 2.4 \cdot 10^{-8} \text{ А}. \quad (4)$$

**Пример.** Оценить предельное энергетическое разрешение ионизационной камеры для  $\alpha$ -частиц с энергией  $E = 5$  МэВ. Энергетическое разрешение  $\Delta E/E$  ионизационной камеры ограничено флуктуациями ионизационных потерь частицы в газообразной среде детектора. Поскольку эти флуктуации подчиняются распределению Пуассона, то предельное энергетическое разрешение находится из соотношения

$$\frac{\Delta E}{E} \approx \frac{1}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{1.5 \cdot 10^5}}, \quad (5)$$

где  $n$  – число электрон-ионных пар. Для  $\alpha$ -частицы с энергией 5 МэВ это даёт  $\Delta E/E \approx 2.5 \cdot 10^{-3}$  и  $\Delta E \approx 12.5$  кэВ.

Импульсные ионизационные камеры делятся на пропорциональные, у которых импульсы напряжения на выходе пропорциональны энергии излучения, и счётные, у которых импульсы не строго пропорциональны энергии излучения. Счётные камеры применяют для определения числа  $\alpha$ -частиц (а также протонов и дейтронов), испускаемых препаратом в единицу времени, а также для измерения в отдельных случаях нейтронов и  $\gamma$ -излучения пульсирующих источников (например, бетатронов). Для счёта  $\beta$ -частиц счётные камеры не применяют (удобнее пропорциональные счётчики). Пропорциональные камеры используют для определения энергии и энергетического спектра  $\alpha$ -частиц, протонов и дейтронов и быстрых нейтронов (водородное наполнение камеры). Пропорциональными камерами пользуются и для счёта  $\beta$ -частиц.



**Рис. 13.** Энергетический спектр  $\alpha$ -частиц природного урана, полученный импульсной камерой с сеткой.

Источник частиц располагают на высоковольтном электроде. Давление газа подбирают таким, чтобы пробег частиц полностью укладывался в газе. Так, при измерении спектра  $\alpha$ -частиц природного урана камеру с сеткой наполняют аргоном под давлением 7,5 атм. В природном уране изотоп  $^{238}\text{U}$  находится в радиоактивном равновесии с изотопом  $^{234}\text{U}$ . Каждый из изотопов испускает  $\alpha$ -частицы, различающиеся по своим энергиям. Энергетический спектр  $\alpha$ -частиц природного урана, измеренный камерой с сеткой, состоит в основном из двух линий. Первая линия с энергией 4,18 МэВ принадлежит  $\alpha$ -частицам  $^{238}\text{U}$ , а вторая линия, с энергией 4,76 МэВ -  $\alpha$ -частицам  $^{234}\text{U}$ .

Варьируя форму электродов ионизационной камеры, состав и давление наполняющего её газа, обеспечивают наилучшие условия для регистрации определённого вида излучения. В ионизационной камере для исследования короткопробежных частиц источник помещают внутри камеры или в корпусе делают тонкие входные окошки из слюды или синтетических материалов. В ионизационной камере для исследования гамма-излучений ионизация обусловлена вторичными электронами, выбитыми из атомов газа или стенок ионизационной камеры. Чем больше объём ионизационной камеры, тем больше ионов образуют вторичные электроны. Поэтому для измерения  $\gamma$ -излучения малой интенсивности применяют ионизационные камеры большого объёма (несколько литров и более).

Ионизационная камера может служить не только счетным, но и спектрометрическим детектором, т.е. позволяет определять энергию частицы. Это возможно вследствие независимости средней энергии, затрачиваемой в газе на образование одной пары электрон-ион, от энергии ионизирующей частицы и от производимой ею удельной ионизации, определяющейся зарядом и скоростью частицы. Поэтому величина заряда, образованного частицей в рабочем объеме камеры, пропорциональна энергии, потерянной частицей в газе, а в случае полного поглощения частицы в рабочем объеме камеры - её энергии.

Преимуществами ионизационной камеры является простота устройства, широкий диапазон измеряемых активностей любого типа излучения, высокая чувствительность к  $\alpha$ -излучению, хорошая воспроизводимость результатов и возможность определения активности препаратов больших размеров.

Недостатком ионизационной камеры являются очень низкие токи, что требует применения очень чувствительной аппаратуры. Этот недостаток преодолевается в ионизационных детекторах с газовым усилением.

Ионизационная камера может быть использована и для измерений нейтронов. В этом случае ионизация вызывается ядрами отдачи (обычно протонами), создаваемыми быстрыми нейтронами, либо  $\alpha$ -частицами, протонами или  $\gamma$ -квантами, возникающими при захвате медленных нейтронов ядрами  $^{10}\text{B}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^{113}\text{Cd}$ . Эти вещества вводятся в газ или стенки ионизационной камеры. Для исследования частиц, создающих малую плотность ионизации, используются ионизационные камеры с газовым усилением. Ионизационные камеры применяют также при исследовании космических лучей.