

## Лабораторные занятия №2

### Устройство и принцип работы детекторов ионизирующих излучений и радиометров

**Цель работы:** ознакомиться с классификацией, принципом работы детекторов ионизирующих излучений, научиться определять пригодность счетчика для регистрации излучения.

**Материалы и оборудование:** детекторы различных типов и конструкций, схемы детекторов.

**Ионизационные камеры.** Наиболее распространенными детекторами излучения являются ионизационные камеры. Их применяют для измерения ядерных излучений всех типов, но чаще для регистрации гамма-излучения и тяжелых заряженных частиц (альфа-частицы и протоны). По конструктивному оформлению ионизационные камеры могут быть плоскими, цилиндрическими и сферическими с объемом воздуха 0,5...5 л. Есть миниатюрные ионизационные камеры — паперстковые, смонтированные в футляре, по форме похожие на авторучку. Их используют как индивидуальные дозиметры (ИД-0,2; К ИД-2; ДП-22В; ДП-24 и др.). Воздушный объем таких камер колеблется от нескольких кубических сантиметров до их долей.

Камеры большего объема более чувствительны, поэтому для измерения малых доз излучения используют камеры с большим объемом.

**Пропорциональные счетчики.** Они выгодно отличаются от ионизационной камеры тем, что начальное усиление первичной ионизации происходит внутри самого счетчика ( $K_{ГУ} = 10^3...10^4$ ). Использование газового усиления в пропорциональных счетчиках дает возможность значительно повысить чувствительность измерений и упростить схему усиления сигнала по сравнению с ионизационными камерами. Наличие пропорциональности усиления в счетчиках позволяет определить энергию ядерных частиц и изучить их природу. Обычно пропорциональный счетчик делают в виде цилиндра, вдоль оси которого натягивают металлическую нить — анод. Проводящее покрытие внутренней поверхности цилиндра служит катодом. Наполняют счетчик смесью неона с аргоном почти до уровня атмосферного давления.

**Счетчики Гейгера—Мюллера** (рис. 1). Это газоразрядные счетчики, которые конструктивно мало чем отличаются от пропорциональных счетчиков цилиндрического и торцевого типов. Основное отличие состоит в том, что внутренний объем счетчика Гейгера наполнен инертным газом при пониженном давлении (15...75 гПа), а работа осуществляется в области Гейгера, т. е. в режиме самостоятельного газового разряда.

Счетчики Гейгера—Мюллера применяют для регистрации всех видов излучений, но чаще бета- и гамма-излучений. Конструкция счетчиков определяется теми задачами, которые они призваны решать. Для счета бета-

частиц малых энергий (0,1...0,2 МэВ) применяют торцовые счетчики (МСТ-17, СБТ и др.) с тонким входным окном (1...5 мг/см<sup>2</sup>). Эти счетчики могут регистрировать и жесткое бета-излучение.

Для обнаружения бета-излучений средней и большой энергии используют цилиндрические счетчики (СБМ-19, СБМ-20 и др.), имеющие стенки из нержавеющей стали и алюминия толщиной 40...45 мг/см<sup>2</sup>.

Счетчики для регистрации гамма-излучения имеют некоторую конструктивную особенность. Регистрация гамма-излучения возможна в результате выбивания вторичных электронов из катода счетчика на основе известных трех механизмов взаимодействия этого излучения с веществом: фотоэффекта, комптонэффекта, образования электронно-позитронных пар. Для повышения эффективности счета гамма-квантов стенки гамма-счетчиков делают из материалов с большим атомным номером и более толстыми (с учетом величины максимального пробега вторичных электронов в данном веществе). Промышленные гамма-счетчики, как правило, цилиндрические и имеют стеклянные стенки. Катодом у них служит напыленный на внутреннюю поверхность стекла слой графита, меди, никеля или вольфрама. Наполнитель — смесь аргона и паров спирта. В практической работе применяют счетчики ГС, МС-4, МС-6, МС-17, ВС-7, ВС-9 и др., длина и диаметр которых варьируются в широких пределах — от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров.

**Галогенные счетчики.** Отдельную группу составляют так называемые галогенные счетчики, у которых гасящим компонентом служат галоиды. Добавка незначительного количества (~0,1 %) таких двухатомных газов, как Сl<sub>2</sub>, Вг<sub>2</sub>, I<sub>2</sub>, к неону или аргону резко снижает начальный потенциал «зажигания» самостоятельного разряда и делает эти счетчики самогасящимися. Низкое рабочее напряжение (300...400 В) позволяет применять галогенные счетчики в нестационарных полевых условиях. В качестве источника питания можно использовать сухие батареи. Преимущество галогенных счетчиков состоит еще и в том, что срок их службы практически не ограничен, так как «гашение» разряда не связано с диссоциацией молекул галоида. Однако галогенные счетчики имеют и существенный недостаток — короткое плато счетной характеристики (~80В) с большим наклоном (12...15% на 100 В). Это ограничивает применение галогенных счетчиков для точных измерений радиоактивных образцов. Промышленность выпускает несколько типов галогенных счетчиков: СИ-1Г, СИ-1БГ, СИ-3БГ, СБТ и др.

**Сцинтилляционные счетчики.** В некоторых веществах (сцинтилляторах, фосфорах) под действием излучений происходят ионизация и возбуждение атомов. При переходе атомов из ионизированного и возбужденного состояний в основное высвечивается энергия в виде вспышки света (сцинтилляции), которая может быть зарегистрирована различными способами. Лучший из них состоит в преобразовании энергии света в электрический сигнал при помощи оптически связанного со сцинтиллятором

фотоэлектронного умножителя (ФЭУ).

Фотоэлектронный умножитель совмещает свойства фотоэлемента и усилителя тока с большим коэффициентом усиления ( $10^6 \dots 10^9$ ). Фотоэлектронный умножитель состоит из фотокатода, анода и динодов (эмиттеров), покрытых сурьмяно-цезиевой смесью либо изготовленных из специальных сплавов алюминия, магния и серы, обладающих большим коэффициентом вторичной эмиссии электронов. Вся система ФЭУ размещена в стеклянном баллоне с высоким вакуумом, необходимым для сохранения поверхностей фотослоя и динодов, а также для свободного движения электронов.

Сцинтилляционные счетчики обладают более высокой эффективностью счета (до 100 %) и разрешающей способностью по сравнению с газоразрядными счетчиками. Разрешающая способность сцинтилляционных счетчиков достигает  $10^{-5}$  с при регистрации альфа-частиц и  $10^{-8}$  с при регистрации бета-частиц и гамма-квантов. Однако указанные характеристики зависят от примененного сцинтиллятора (фосфора).

**Полупроводниковые детекторы.** Такие детекторы представляют собой твердотельную ионизационную камеру, в которой роль носителей электрического заряда выполняют электроны и так называемые дырки. Действие детекторов основано на свойствах полупроводников проводить электрический импульс под действием ионизирующих излучений. Из всех полупроводников наиболее пригодны для детекторов монокристаллы германия и кремния. Преимущество полупроводниковых детекторов состоит в том, что можно изготавливать такие детекторы очень малых размеров, поскольку толщина рабочего слоя измеряется десятками или сотнями микрометров, а полезная площадь может составлять около  $1 \text{ см}^2$ . Вместе с тем они имеют и недостатки. Электропроводность таких детекторов изменяется при нагревании, поэтому во время регистрации излучений полупроводник надо охлаждать жидким азотом. Сейчас выращивают кристаллы особо чистого германия, которые могут храниться и работать при комнатной температуре без ухудшения характеристик.

**Приборы для измерения ионизирующих излучений.** Приборы для измерения ионизирующих излучений можно условно разделить на три группы: радиометры, дозиметры и спектрометры.

**Радиометры** предназначены для измерения активности радиоактивных веществ, плотности потока ионизирующих излучений, удельной и объемной активности газов, жидкостей, аэрозолей, различных объектов внешней среды, продуктов растительного и животного происхождения, а также удельной поверхностной активности.

**Дозиметры** предназначены для измерения экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, поглощенной дозы излучений, мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, мощности поглощенной дозы и интенсивности ионизирующих излучений.

**Спектрометры** предназначены для измерения распределения

излучений по энергии, заряду и массам, а также пространственно- временных распределений излучений.

Радиометры выпускают различных систем и конструкций. Среди них можно выделить две основные группы: переносные и стационарные.

### **Переносные, лабораторные и полевые радиометры.**

Они имеют малые размеры и автономное (батарейное) или сетевое питание. Приборы этого типа применяют для обнаружения радиоактивных веществ, а также для определения их количества и качества (гамма- или бета-излучение). Вместо пересчетного прибора применено более простое электронное устройство, позволяющее считывать показания по шкале стрелочного показывающего прибора. Некоторые радиометры имеют цифровую, световую и звуковую индикацию излучения, а также пороговую звуковую или световую сигнализацию превышения заданной мощности дозы или пороговой скорости счета импульсов. В качестве детекторов излучения используют газоразрядные и сцинтилляционные счетчики.

Из переносных радиометров можно назвать ДРГЗ-ОЗ, СРП-68-01, ДРГ-01Т1, ДП-5 (А, Б, В), ДКС-96. Сигнализаторы загрязненности СЗБ-ОЗ и СЗБ-04 применяют в радиологических лабораториях для контроля радиоактивной загрязненности рук и других поверхностей бета- активными веществами.

**Стационарные (лабораторные) радиометры.** Такие радиометры различаются электрическими и эксплуатационными параметрами, а также конструктивными особенностями. Однако все они имеют сходную блок-схему устройства и состоят из детектора, импульсного усилителя, пересчетного прибора, регистрирующего устройства для визуального определения результатов измерения и источника высокого напряжения для питания детектора. Питание приборов обеспечивается от сети переменного тока.

Детектор служит для обнаружения ионизирующих излучений и преобразования энергии излучения в другие виды энергии (например, в электрическую), удобные для регистрации. Амплитуда сигналов (величина заряда в импульсе), поступающих от детекторов, как правило, недостаточна для того, чтобы их можно было зарегистрировать непосредственно. Поэтому обязательными узлами большинства приборов, предназначенных для измерения ионизирующих излучений и использующих детекторы дискретного типа, являются импульсные усилители.

Основными компонентами радиометров остаются пересчетные приборы. Они служат для измерения числа импульсов, поступающих в заданный промежуток времени от детектора (непосредственно или после отбора по какому-либо параметру), или для измерения среднего числа этих импульсов, поступающих от детектора в единицу времени. Пересчетные приборы называют также счетчиками импульсов.

К радиометрам стационарного типа можно отнести малофононую установку УМФ-2000, радиометры РУБ-01П, РКГ-05, РУБ-91, «Иета», NRR-

610, НТ-1000 и др. Названные приборы — стандартизованные средства измерения, и их можно рекомендовать для оснащения радиологических подразделений с целью проведения радиационного контроля кормов и продуктов животноводства на содержание радионуклидов  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и др.

Широкое внедрение в практику радиоиммунологических методов анализа (РИА) привело к созданию специализированных для РИА радиометрических установок, таких, как RIA-GAMMA (I.KB-Швеция), «Гамма-2» и «Гамма-12» «Мультигамма» (для ре-

Регистрации гамма-излучения при помощи твердых сцинтилляционных счетчиков). Радиометры «Rack-Beta» и «Бета-2» служат для регистрации бета-излучения с использованием жидких сцинтилляционных счетчиков. Перечисленные приборы снабжены системой автоматической подачи и смены образцов для счета. Управление приборами осуществляется посредством программирования всех необходимых параметров счета и обработки результатов.

**Спектрометры** (гамма-спектрометрические установки). Состоят из следующих элементов: детектора, который служит для преобразования энергии гамма-квантов в электрический импульс; предусилителя, усиливающего сигнал; блока питания детектора и предусилителя; спектрометрического усилителя, формирующего сигнал нужной формы и защищающего последующие устройства от шумов малой амплитуды, отсекая их специальным дискриминатором; аналого-цифрового преобразователя (АЦП), измеряющего амплитуду каждого импульса и накапливающего информацию о них в памяти; монитора (осциллограф или экран компьютера), который служит для визуализации гистограмм поступивших импульсов.

## **ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ И ПОРЯДОК РАБОТЫ НА РАДИОМЕТРАХ УМФ-2000, ПС02-5, УС-6**

**Цель работы:** ознакомиться с порядком подготовки к работе радиометров УМФ-2000, ПС02-5, УС-6.

**Материалы и оборудование:** альфа-бета радиометр УМФ-2000, прибор счетный; одноканальный ПС02-5, прибор пересчетный двухканальный УС-6.

### **Выполнение работы.**

**Альфа-бета радиометр УМФ-2000.** Широко используют в альфа-бета-радиометрии, особенно для измерения суммарной альфа- и бета-активности природной и питьевой воды. Во многих случаях он может заменить дорогостоящие газопоточные радиометры, не используя при этом аргон-метановую газовую смесь.

Назначение: измерение суммарной активности альфа- и бета-излучающих нуклидов в «тонких» и «толстых» пробах.

Подготовка радиометра УМФ-2000 к измерениям заключается в

следующем.

1. Перед началом работы необходимо убедиться, что сетевой кабель питания правильно подключен и не имеет повреждений; проверить наличие заземления. После этого включить радиометр в сеть и перевести переключатель сети в положение «Вкл». При этом должен загореться красный светодиод, расположенный рядом с надписью «Сеть» на передней панели прибора.

2. После включения прибор находится в тестовом режиме, облегчающем проверку его работоспособности. При этом на верхнем индикаторе отображается внутренний серийный номер прибора, на нижнем индикаторе идет счет времени. При нажатии и удерживании кнопки переключателей режимов на верхнем индикаторе отображается значение, установленное на задатчике времени счета. Изменяя его значение при нажатой кнопке режима, можно проверить соответствие значения задатчика времени и реально установленного времени счета. Для перехода в рабочий режим необходимо нажать кнопку «Пуск».

3. В УМФ-2000 предусмотрена возможность работы под внешним управлением через порт RS-232, разъем которого расположен на задней панели. Для перехода в режим работы с внешним управлением необходимо перед включением прибора задатчик времени установить в 0000. Команды, управляющие УМФ-2000, приведены в описании к прибору.

4. Посредством переключателя режимов выбрать режим «Альфа, Бета» или «Бета, Время».

5. Прогреть радиометр в течение 30 мин.

6. Провести контрольное измерение фона с экспозицией не менее 1000 с, при этом пустая, предварительно протертая салфеткой, смоченной спиртом, кювета загружается в счетное положение. Убедиться, что значение фона находится в пределах, указанных в паспорте (свидетельстве о проверке). При обнаружении увеличения фона выявить и устранить причину.

7. Установить на устройство подачи счетных образцов контрольный источник из комплекта радиометра и провести контрольное измерение счета за 300 с. Полученное значение скорости счета должно находиться в пределах, указанных в паспорте (свидетельстве о проверке). Приступить к рабочим измерениям.

Проведение измерений для определения активности счетного образца включает операции измерения скорости счета с пустой кюветой (фон) и со счетным образцом в кювете в фиксированном счетном положении барабана подачи образцов.

При измерениях следует использовать значение фона прибора, полученное как среднее 8... 10 измерений фона с таким расчетом, чтобы при каждом измерении было зафиксировано не менее 10 отсчетов. При этом в дальнейшем целью измерения фона должно быть подтверждение соответствия текущего значения фона его среднему значению с учетом статистического разброса. Провести несколько измерений счетного образца.

Результатом измерений является количество импульсов, зарегистрированных прибором по обоим каналам за время  $t$ .

Определить среднюю скорость счета от счетного образца вместе с фоном.

**Прибор счетный одноканальный ПСО 2-5.** Подготовка прибора к работе заключается в следующем.

1. Проверить правильность соединения блоков и наличие заземления.
2. Подключить радиометр к сети переменного тока.
3. Нажать кнопку «Сеть» на задней панели прибора.
4. Нажать кнопку «Сеть» на блоке высокого напряжения.
5. Прогреть прибор 3...5 мин.

6. Переключатель «Установка экспозиции» поставить в положение 0,1с путем включения и быстрого выключения его в момент загорания запятой напротив требуемой экспозиции. Провести подобные действия при установке 1, 10, 100, 1000 с.

7. Перейти в другой диапазон экспозиции, который автоматически включается, при загорании светодиода  $\times 3$  на малом овальном экране. В этом случае величина времени счета будет 0,3; 3; 30; 300; 3000 с.

8. Для проверки пересчетной схемы переключателя поставить в следующие положения: «Проверка», «Т», «Внутреннее», «Однократное».

9. Установить экспозицию 0,1с, нажать кнопки «Сброс», «Пуск» и записать показание. Провести измерения при всех остальных экспозициях и результаты записать. При нормальном функционировании пересчетной схемы радиометра показания на табло должны быть равны экспозиции, умноженной на 100.

Например, при экспозиции 10 с показание на шкале индикации должно быть равно 1000, а при 30 с — 3000.

10. Для перехода в режим «Работа» переключателя установить в следующее положение: «Работа», «N», задать необходимое время счета.

### **Литература:**

1. Практикум по радиобиологии. /Лысенко Н.П., Пак В.В., Рогожина Л.В. и др. / Стр. 13-28.
2. Радиометрия. /А.Д. Белов., В.А. Киршин., Н.П. Лысенко и др. / Стр. 46-71.

### **Контрольные вопросы и задания.**

1. Что такое дозиметрия и радиометрия\$
2. Какие приборы используют для измерения ядерных излучений\$
3. Какие типы детекторов используют для обнаружения ионизирующих излучений\$
4. Какой принцип работы дозиметров, детекторов и радиометров\$