КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ
Физико-технический факультет
Кафедра теоретической и ядерной физики

«Радиологические измерения»

Лекция 9. Принцип работы радиометрических приборов радиационного контроля.

и.о. доцента кафедры
теоретической и ядерной физики
PhD Зарипова Ю.А.

Цель лекции: сформировать у обучающихся представление о физических принципах работы радиометрических приборов, их функциональной структуре, основных типах детекторов и особенностях применения радиометров для измерения активности радионуклидов и радиационного контроля.

Результаты обучения:

По завершении лекции обучающийся будет способен:

1. Объяснять назначение, основные задачи и классификацию радиометрических приборов радиационного контроля.
2. Описывать функциональную структуру радиометра и принципы преобразования ионизирующего излучения в электрические сигналы.
3. Характеризовать принципы работы газоразрядных, сцинтилляционных и полупроводниковых детекторов, применяемых в радиометрии.
4. Объяснять особенности регистрации α-, β- и γ-излучения и факторы, влияющие на эффективность измерений.
5. Сравнивать основные характеристики радиометрических приборов и обосновывать их применение для измерения активности радионуклидов в различных объектах.

Радиометры - это приборы, которые измеряют плотность потока частиц и применяются обычно для контроля поверхностных загрязнений альфа-, бета- и гамма-излучающими нуклидами. Эти приборы измеряют число частиц, пересекающих единичную площадь блока детектирования за единицу времени (обычно в част./(см²·мин)).

Могут быть охарактеризованы набором параметров, называемых показателями качества. Вот не которые из них:

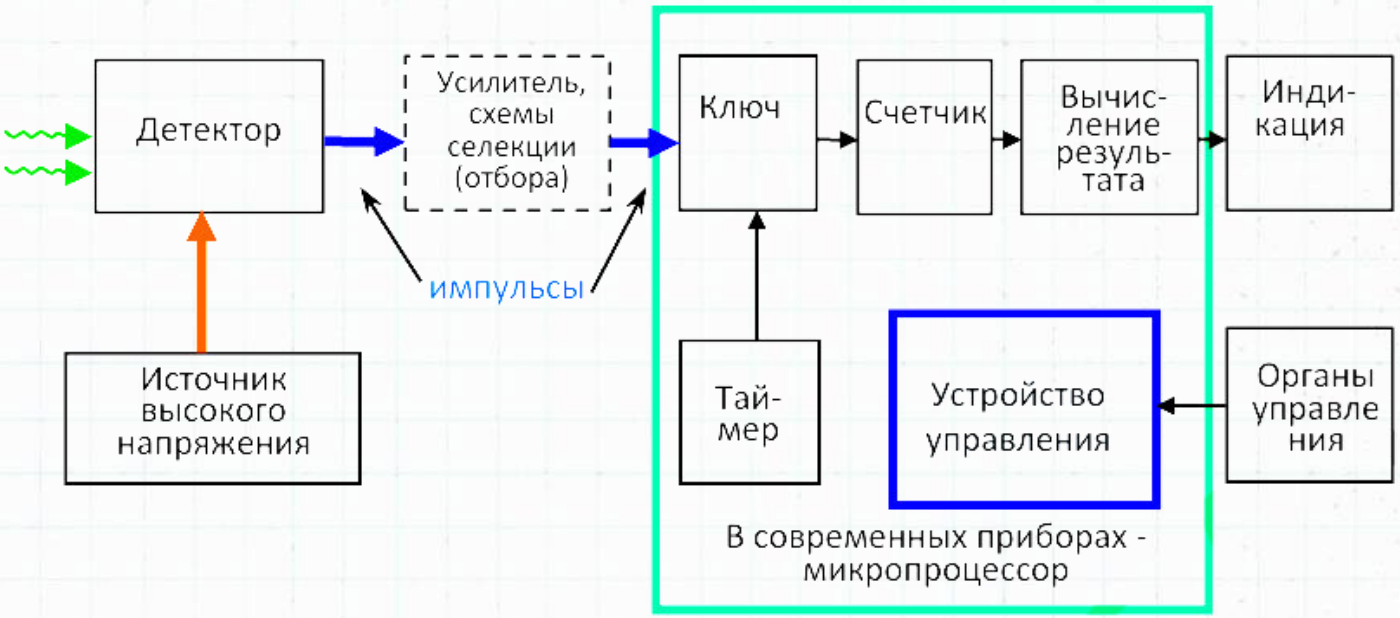
1) *диапазон измеряемой величины;*
2) *диапазон энергии частиц.*
3) *основная погрешность;*
4) *условия эксплуатации;*
5) *ресурс и срок службы;*
6) *характеристики источника питания;*
7) *масса и габариты прибора.*

По своему назначению радиометры предназначены для:

– измерения активности нуклида в источнике излучения, как правило, по выходу частиц из источника;
– определения удельной активности;
– радиометрии газов;
– радиометрии аэрозолей;
– радиометрии жидкостей;
– определения поверхностной загрязненности;
– измерения плотности потока частиц; а также комбинированные радиометры.

Радиометрические приборы классифицируются по различным признакам:

- По типу регистрируемого излучения: альфа-, бета-, гамма-, нейтронные радиометры.
- По типу применяемого детектора: газоразрядные, сцинтилляционные, полупроводниковые, термолюминесцентные и др.
- По назначению: приборы контроля радиационного фона; приборы измерения активности источников; приборы для дозиметрии и спектрометрии.
- По способу индикации: аналоговые, цифровые.



Блок-схема радиометра

β-радиометры

β-радиометры с газоразрядными счетчиками

Часто приборы снабжают градуировочными источниками ^{90}Sr-^{90}Y.

Используются либо цилиндрические счетчики со стальными стенками толщиной 50 мг/см^2, либо торцовые счетчики с пленочным окном, толщина которого в зависимости от диаметра счетчика колеблется от 1,2 до 6 мг/см^2. При выборе счетчика следует учитывать, что электроны имеют конечный пробег. Таким образом, счетчик со стенкой толщиной 50 мг/см^2 стали не будет регистрировать электроны с энергиями меньше 0,165 МэВ, а счетчик с окном толщиной 6 мг/см^2 – с энергиями менее 0,060 МэВ. Поэтому при использовании более дешевых цилиндрических счетчиков есть вероятность занижения выхода β-частиц.

Активность образца (A) и скорость счета (N) за вычетом фона $(N)_ф$ связаны эмпирической зависимостью:

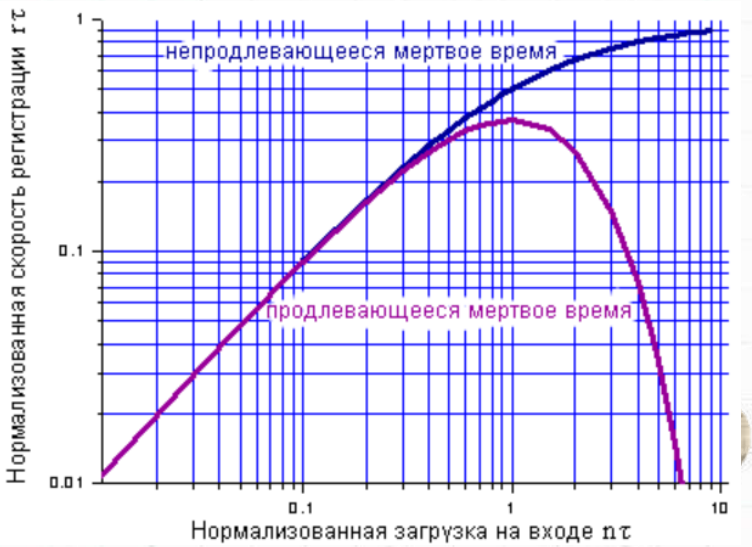
$$N - N_ф = A \cdot \frac{1 - e^{-\mu \cdot d}}{\mu d} \cdot e^{-\mu \cdot d_0},$$

где μ – коэффициент ослабления β-частиц, d и d_o – толщина образца и окна.

β-радиометры

Еще один тип радиометров – **проточные пропорциональные счетчики**. Такие счетчики наполняют либо метаном, либо пропаном при давлении чуть выше атмосферного. Счетчики имеют анодные проволочные электроды из золоченого вольфрама диаметром ~30 мкм и заземленный катод – корпус. На анод через резистор подается напряжение ~3,0÷3,4 кВ. В отличие от газоразрядных счетчиков газовый разряд охватывает только часть нити. Поэтому сигналы по амплитуде меньше, но быстродействие счетчика существенно выше.

Сигналы напряжения или тока усиливаются, быстродействующий дискриминатор устраняет наводки и шумы электроники и формирует импульс. Импульсы регистрируются быстродействующим счетчиком. «Мертвое время» – 3-5 мкс.



α-радиометры

Рассмотрим толстую пробу, т.е. толщина которой превышает пробег α-частиц. Исходя из предпосылки о строго определенном пробеге α-частиц и равномерном распределении активности внутри пробы, можно рассчитать выход α-частиц и предсказать форму спектра:

$$\dot{N}_\alpha = 10^3 \cdot S \cdot R_\alpha \cdot \frac{A_m}{4},$$

где N_α – выход α-частиц из пробы с площадью S; R_α – пробег α-частиц в пробе, [мг/см^2]; A_m – удельная (массовая) активность, [Бк/г].

Наиболее распространенными детекторами для регистрации α-частиц являются сцинтилляционные счетчики с дисперсионным сцинтиллятором. Размер кристаллов примерно соответствует пробегу α-частиц. Сцинтиллятор прикрывают тонкой светонепроницаемой пленкой (лавсан с алюминиевым на пылением) толщиной 0,7 мг/см^2. Такая толщина соответствует про бегу α-частиц с энергиями 1,6-2,0 МэВ.

α-радиометры

Для увеличения чувствительности используют сцинтиллятор большой площади. Для сбора света на ФЭУ меньшего размера применяют либо полированные пластмассовые световоды, либо эллиптические отражатели света. Удается соединить сцинтиллятор диаметром 120 мм с ФЭУ диаметром 25 мм при практически постоянной чувствительности сцинтиллятора вдоль его радиуса.

В силу вышесказанного эффективность регистрации обычно не превышает 20 %, но при проведении измерений в темноте со снятой светозащитой эффективность может быть удвоена.

Для определения α-активности подготовленных сухих проб могут использоваться пропорциональные проточные счетчики. Чаще всего используют две конструкции пропорциональных счетчиков. Внутри цилиндрического объема в торцевую часть вставлен изолятор, например из фторопласта. Через отверстие в изоляторе введена тонкая золоченая вольфрамовая нить, которая в объеме счетчика делает петлю и выходит в отверстие в изоляторе. Стенки цилиндра полированы и обработаны так, чтобы уменьшить выбивание электронов и фотонов ионами газа. Катоды изготавливают из нержавеющей стали, меди, латуни. Медные катоды рекомендуют окислять погружением на 5÷7 с в смесь хромовой (250 $см^3$) и азотной (75 $см^3$) кислот на 1 л воды.

α-радиометры

Для радиометрии образцов и идентификации радионуклидов по спектрам α-частиц применяют **полупроводниковые кремниевые детекторы (ППД)**. Конструкции и структуры их разнообразны. Используют *поверхностно-барьерные, диффузионные, ионно-имплантированные* ППД. По требованию стандартов толщина мертвого слоя окна не должна превышать 30 нм. Толщина обедненного слоя, p-n перехода, должна быть больше пробега α-частиц, что достигается подбором напряжения смещения. Работа преобразования пары носителей заряда (электрон-дырка) в кремнии равна ~3 эВ. Однако амплитуда сигнала мала и зависит от ем кости перехода и входной емкости усилителя. Поэтому в головном каскаде применяют низкошумящие усилители заряда (операционный усилитель, охваченный емкостной обратной связью).

Альфа-бета радиометр УМФ-2000



Настольный радиометр с кремниевым детектором для измерений малых активностей, широко используемый в альфа-бета-радиометрии. Рекомендуется для измерения суммарной альфа- и бета-активности природной и питьевой воды.

Назначение: измерение суммарной активности альфа- излучающих нуклидов в «толстых» и «тонких» счетных образцах из проб объектов окружающей среды, активности нуклидов в пробах, полученных после селективной радиохимической экстракции; измерение суммарной активности бета- излучающих нуклидов в счетных образцах из проб пищевых продуктов, почвы, воды; на фильтрах и сорбентах, а также в пробах, полученных после селективной радиохимической экстракции.

Альфа-бета радиометр УМФ-2000



Свойства: одновременное измерение альфа- и бета-активностей образца; полупроводниковый ионно-легированный кремниевый детектор; активная защита от фонового излучения на основе газоразрядных счетчиков и схемы антисовпадений; пассивная свинцовая защита от фонового излучения (30 мм свинца); сетевая защита от помех в сети питания; двухканальное пересчетное устройство для счета числа импульсов от зарегистрированных альфа- и бета-частиц с таймером; выход спектрометрического сигнала; связь с компьютером по интерфейсу RS-232; программное обеспечение UMF-2000.

Основные технические характеристики

Детектор	**полупроводниковый кремниевый ионно-легированный**
Площадь детектора	450 мм^2
Диапазон измеряемых активностей:	
альфа-излучающих нуклидов	0,01 – 1000 Бк
бета-излучающих нуклидов	0,1 – 3000 Бк
Относительная погрешность измерений	15 %

Гамма-радиометры автоматизированные РКГ-02А, РКГ-02А/1



Для измерения объемной и удельной активности радионуклидов цезия-134, цезия 137 и их смеси с известным отношением активностей в продуктах питания, кормах и других пробах различной консистенции: твердых (измельченных), жидких, сыпучих и пастообразных. Диапазон измерения активности для сосудов объемом 0,5 л от 18,5 до 9999 Бк/л (Бк/кг); объемом 0,2 от 100 до 9999 Бк/л (Бк/кг). Погрешность ±35%.

Гамма-радиометры серии РКГ-АТ1320 предназначены для измерения объемной активности (ОА) и удельной активности (УА) гамма-излучающих радионуклидов ^{137}Cs, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{232}Th.

Применяются для измерений в воде, продуктах питания, почве, строительных материалах, промышленном сырье и других объектах окружающей среды.



Выводы:

1. Радиометрические приборы предназначены для регистрации и количественной оценки ионизирующих излучений, измерения активности радионуклидов и контроля радиоактивного загрязнения.
2. Принцип работы радиометра основан на преобразовании энергии излучения в электрические сигналы с последующим усилением, счетом и обработкой импульсов.
3. Особенности регистрации α-, β- и γ-излучения определяют конструкцию радиометров, выбор детектора и условия проведения измерений.
4. Точность и чувствительность радиометрических измерений зависят от эффективности регистрации, характеристик детектора, фонового излучения и правильного выбора методики измерений.

Вопросы для самопроверки:

1) Что называется радиометрическим прибором и каково его основное назначение в системе радиационного контроля?
2) На каких физических процессах основана регистрация излучений в радиометрических приборах?
3) В чём заключается принцип работы газоразрядных детекторов и какие режимы их функционирования различают?
4) Опишите принцип действия сцинтилляционного детектора и его особенности по сравнению с другими типами детекторов.
5) В чём заключаются преимущества и недостатки полупроводниковых детекторов при регистрации излучений?

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

