

«Радиологические измерения»

Лекция 9. Принцип работы радиометрических приборов радиационного контроля.

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

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./($\text{см}^2 \cdot \text{мин}$)).

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

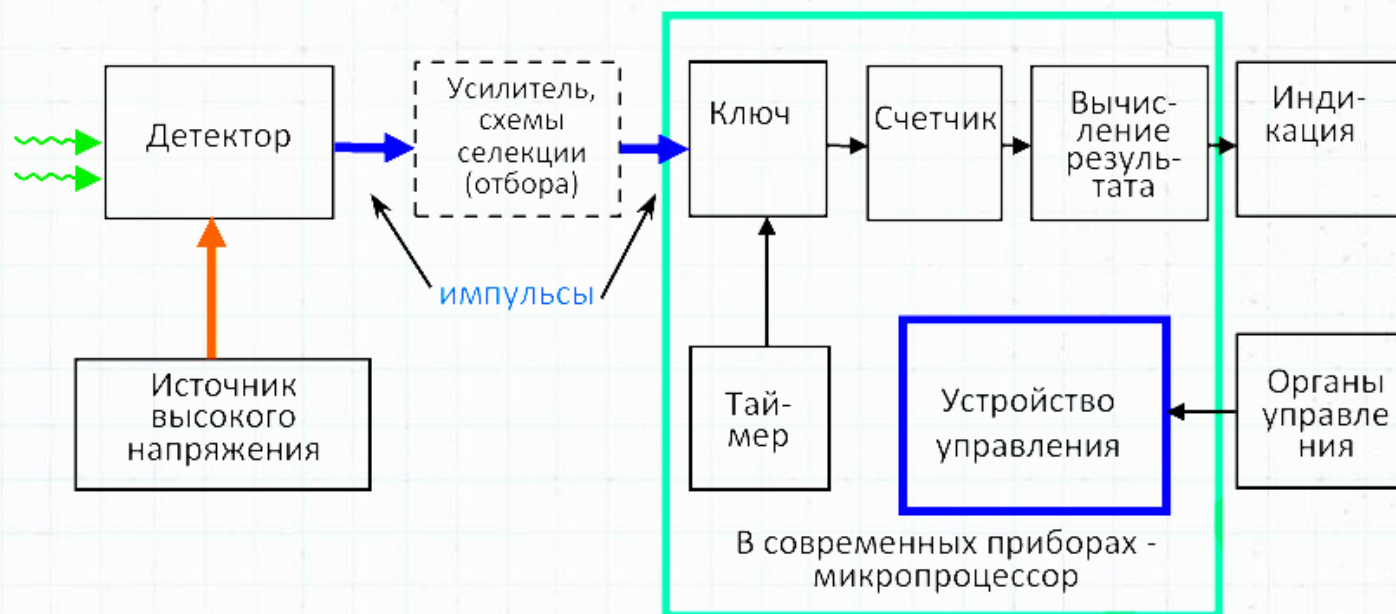
- 1) диапазон измеряемой величины;
- 2) диапазон энергии частиц.
- 3) основная погрешность;
- 4) условия эксплуатации;
- 5) ресурс и срок службы;
- 6) характеристики источника питания;
- 7) масса и габариты прибора.

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 комбинированные² 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 $0,165 \text{ МэВ}$, а счетчик с окном толщиной 6 мг/см^2 – с энергиями менее $0,060 \text{ МэВ}$. Поэтому при использовании более дешевых цилиндрических счетчиков есть вероятность занижения выхода β-частиц.

Активность образца (A) и скорость счета (N) за вычетом фона ($N_{\text{ф}}$) связаны эмпирической зависимостью:

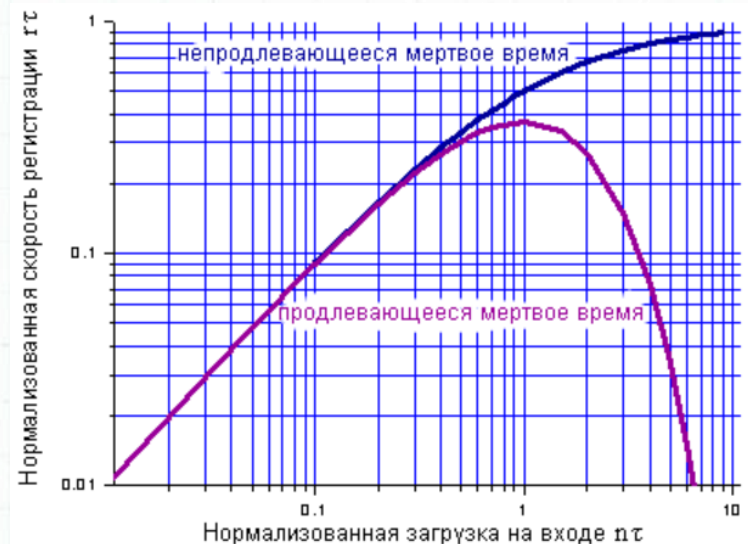
$$N - N_{\text{ф}} = A \cdot \frac{1 - e^{-\mu \cdot d}}{\mu d} \cdot e^{-\mu \cdot d_0},$$

где μ – коэффициент ослабления β-частиц, d и d_0 – 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 $\sim 3,0 \div 3,4$ 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/см²]; 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 напылением) толщиной 0,7 мг/см². Такая толщина соответствует пробегу 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. Удастся 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 8 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, р-п 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 емкости 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 $\pm 35\%$.

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.



**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

