

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ



Зарипова Ю.А.

РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Сборник лекций для студентов по направлению подготовки
«Физические и химические науки»

Алматы 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Лекция 1. Источники ионизирующих излучений.

Лекция 2. Основы ядерной физики.

Лекция 3. Радиоактивность.

Лекция 4. Ядерные реакции.

Лекция 5. Взаимодействие радиоактивного излучения с веществом.

Лекция 6. Физические основы дозиметрии.

Лекция 7. Методы измерения ионизирующих излучений.

Лекция 8. Стандарты и нормативные документы в области радиационного контроля.

Лекция 9. Принцип работы радиометрических приборов радиационного контроля.

Лекция 10. Принцип работы спектрометрических приборов радиационного контроля.

Лекция 11. Радиационный мониторинг.

Лекция 9. Принцип работы радиометрических приборов радиационного контроля.

Цель лекции: Сформировать у обучающихся представление о физических принципах работы радиометрических приборов, их функциональной структуре и основных типах детекторов, применяемых для регистрации и измерения ионизирующих излучений.

Введение: Современный мир невозможно представить без применения источников ионизирующих излучений. Они используются в медицине, промышленности, энергетике, научных исследованиях и сельском хозяйстве. Однако любое использование радиоактивных веществ требует строгого контроля уровней излучения, чтобы исключить вредное воздействие на человека и окружающую среду. Радиометрические приборы – это основное средство измерения и контроля радиации. Они позволяют регистрировать, количественно оценивать и анализировать потоки частиц и квантов различных видов излучения. Задача радиометрии – измерение интенсивности радиоактивного излучения и определение активности радиоактивных веществ. Радиометры применяются как в лабораторных условиях, так и в полевых измерениях, при аварийных ситуациях и санитарных проверках. Важное физическое понятие радиометрии – активность. Приборы, измеряющие активность, называются радиометрами.

Основная часть:

Все радиометрические методы основаны на явлениях, возникающих при прохождении ионизирующего излучения через вещество. Основные механизмы взаимодействия используемые для регистрации излучения:

- Ионизация – образование положительных ионов и свободных электронов.
- Возбуждение атомов – повышение уровня энергии электронов.
- Сцинтилляция – излучение света при переходе атомов в основное состояние.

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.

Любой радиометрический прибор, независимо от модели и назначения, имеет одинаковую функциональную структуру:

1. Детектор излучения – преобразует энергию частиц или фотонов в электрический сигнал.
2. Усилитель – увеличивает амплитуду слабого сигнала до уровня, пригодного для дальнейшей обработки.
3. Счётное устройство – фиксирует количество импульсов за определённое время.

4. Измерительный блок и индикация – отображает результаты в удобной форме (имп/с, Бк, мкЗв/ч и т. д.).
5. Источник питания – обеспечивает стабильное напряжение.

Общий принцип работы радиометра заключается в том, что ионизирующее излучение, попадая на детектор, вызывает физические процессы (ионизацию, свечение, образование электронных пар), которые преобразуются в электрические импульсы. Далее импульсы усиливаются, подсчитываются и отображаются на шкале или экране прибора.

Детекторы описываются множеством параметров, важнейшие из которых – энергетическое разрешение и эффективность регистрации, которая определяется как доля зарегистрированных частиц из всех, попавших в рабочий объем детектора. В приборах радиационного контроля обычно используются три типа детекторов излучений: газоразрядные, сцинтилляционные и полупроводниковые.

1. Газоразрядные детекторы, используют явление ионизации при прохождении заряженной частицы излучения через вещество.

Принцип работы: В замкнутом объеме газа создается электрическое поле. При попадании излучения газ ионизируется – появляются заряженные частицы. Под действием поля электроны движутся к аноду, создавая импульс тока. Возникающие в нем при ионизации электроны и ионы движутся, соответственно, к положительному (аноду) и отрицательному (катоде) электродам. При этом образуется электрический импульс (всплеск) тока, который на сопротивлении нагрузки преобразуется в импульс напряжения. В зависимости от величины напряжения различают три режима:

- ионизационный (ток пропорционален интенсивности излучения);
- пропорциональный (амплитуда импульса соответствует энергии частицы);
- разрядный (режим Гейгера-Мюллера — каждый акт ионизации вызывает лавинообразный разряд).

Преимущества: простота, высокая надёжность, широкая применимость.

Недостатки: не различают энергию частиц, ограниченная чувствительность к слабым излучениям.

2. Сцинтилляционные детекторы

Принцип работы: Некоторые вещества (кристаллы NaI(Tl), CsI, пластмассы, жидкости) способны светиться при воздействии излучения. Возникающая вспышка света (сцинтилляция) регистрируется фотоумножителем (ФЭУ), который преобразует свет в электрический импульс. Интенсивность света пропорциональна энергии частицы, что позволяет проводить спектрометрию.

Достоинства:

- высокая чувствительность;
- возможность различать тип и энергию излучения;
- короткое время отклика.

Недостатки:

- чувствительность к вибрациям и температуре;
- необходимость стабильного питания;
- чувствительность к влажности и старению сцинтилляторов.

3. Полупроводниковый детектор имеет много общего с ионизационной камерой. Однако в качестве рабочего вещества используется не газ, а р-п переход, созданный в монокристалле полупроводника (кремния или германия).

Принцип работы: Под действием частицы излучения в р-п переходе образуются электроны и дырки (вакансии для электронов, которые ведут себя как положительно заряженные частицы). Благодаря приложенному к р-п переходу напряжению (в запирающей полярности) возникает импульс тока, амплитуда которого пропорциональна энергии частицы. Энергия, необходимая для образования пары электрон-дырка значительно меньше, чем энергия ионизации атома газа, поэтому ППД обладает рекордно высоким энергетическим разрешением.

Преимущества:

- высокая энергоразрешающая способность;
- компактность и стабильность характеристик.

Недостатки:

- высокая стоимость;
- требование охлаждения (особенно для германиевых детекторов): при регистрации частиц с низкой энергией измеренные импульсы соизмеримы по амплитуде с шумовыми импульсами, уменьшить которые можно понижением температуры. Поэтому некоторые полупроводниковые детекторы требуют охлаждения до температуры жидкого азота, что значительно усложняет их конструкцию и эксплуатацию.

4. Термолюминесцентные и фотолюминесцентные детекторы, которые используются в персональных дозиметрах.

Принцип работы: Ионизирующее излучение создаёт в кристалле дефекты решётки, где накапливается энергия. При нагреве энергия высвобождается в виде света, интенсивность которого пропорциональна полученной дозе.

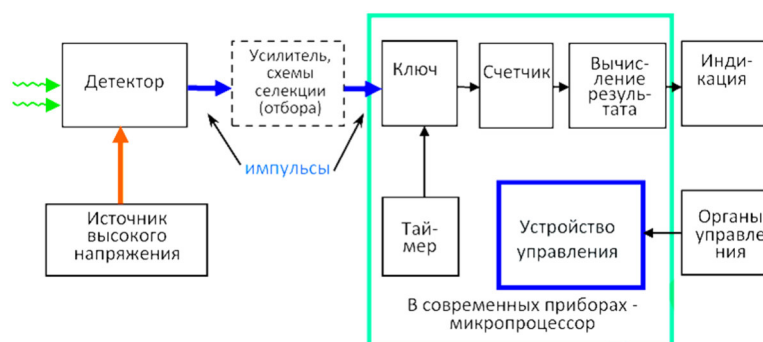
Достоинства: возможность длительного накопления информации, малая зависимость от внешних условий.

Наиболее распространены радиометры для радионуклидов, испускающих гамма-излучение. Как правило, в них используются сцинтилляционные детекторы. Благодаря наличию энергетического разрешения они обеспечивают селективность, то есть способность настроиться на излучение конкретного радионуклида (чаще всего цезия-137 и калия-40). Селективность обеспечивается также электронными схемами, отбирающими сигналы детектора только определенными значениями амплитуды, и блоком обработки. При проведении измерений удельной (УА) или объемной ($\square\square$) активности интенсивность излучений, испускаемых содержащимися в образце радионуклидами, обычно значительно меньше фоновой. Чтобы снизить влияние фона на процесс измерения активности, образец вместе с детектором помещают в блок защиты «домик» из

свинца, стали или комбинации металлов. Эти материалы должны иметь как можно меньшее содержание радионуклидов природного или техногенного происхождения.

Важная характеристика любого радиометра – нижний предел измеряемой активности. Эта величина существенно зависит от качества блока защиты, рабочего объема и эффективности регистрации детектора. Чем меньшие значения активности приходится измерять, тем качественнее должны быть защита и детектор.

Особенности проникающей способности гамма-излучения приводят к тому, что даже при наличии блока защиты имеется остаточный фон, который нужно учесть при выполнении измерений. Поэтому все методики выполнения радиометрических измерений предусматривают процедуру вычитания фона.



Блок-схема радиометра

Заключение:

Радиометрические приборы играют ключевую роль в обеспечении радиационной безопасности. Их работа основана на регистрации и преобразовании энергии ионизирующих излучений в электрические сигналы, анализ которых позволяет количественно оценить уровень радиоактивности. Современные радиометры – это высокоточные, надёжные и технологичные устройства, обеспечивающие эффективный контроль на всех стадиях обращения с источниками излучения – от добычи уранового сырья до медицинских процедур и экологического мониторинга. Знание принципов их действия необходимо для специалистов в области ядерной энергетики, радиационной безопасности, экологии, медицины и других направлений, где присутствуют источники ионизирующего излучения.

Контрольные вопросы:

- 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?

Список использованных источников:

1. Гурачевский В.Л., Леонович И.С., Хоровец И.Г. Руководство по работе с приборами радиационного контроля. – Минск: Институт радиологии, 2015. – 108 с.

2. Группен К. Детекторы элементарных частиц: пер. с англ. – Новосибирск: Сибирский хронограф, 1999. – 407 с.

3. Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – 384 с.