КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АЛЬ-ФАРАБИ

Зарипова Ю.А.

РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

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

Алматы

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 объёме газа создаётся 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 (катоду) 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 требует 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.

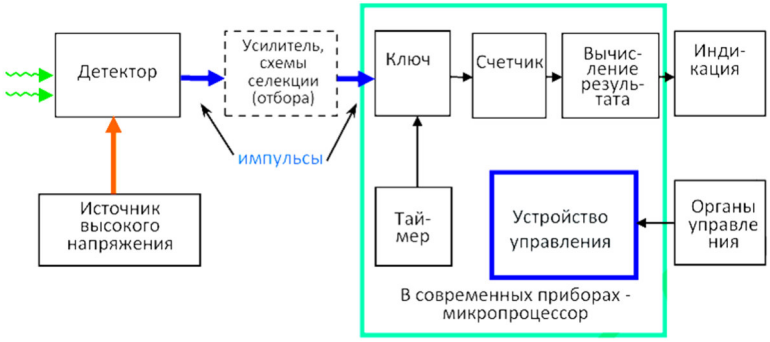
Достоинства: возможность длительного накопления информации, малая зависимость от внешних условий.

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 (ОА) 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. Групен 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.