

## **Тема: Ионизирующее излучение**

**Ионизирующее излучение** – поток частиц, взаимодействие которых с веществом приводит к ионизации его атомов и молекул. Ионизирующим излучением являются потоки электронов, позитронов, протонов, дейтронов (ядер дейтерия  $2\text{H}$ ), альфа-частиц (ядер гелия  $4\text{He}$ ) и других заряженных частиц, а также нейтронов, рентгеновского и гамма-излучения. Заряженные частицы, рентгеновские фотоны и гамма-кванты непосредственно ионизуют атомы и молекулы за счёт электромагнитного взаимодействия с электронами атомов. Не имеющие заряда нейтроны ионизируют вещество лишь в результате образования (в ядерных реакциях) вторичных заряженных частиц.

**Ионизирующее излучение** – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию зарядов разных знаков. Свойствами ионизации среды обладают радиоактивные излучения, излучения высоких энергий, рентгеновские лучи.

**Радиоактивные излучения** образуются в результате самопроизвольного распада атомных ядер элементов. Известно около 50-ти естественных (уран, радий, торий и др.) и более 700 искусственно полученных радиоактивных элементов.

К ионизирующим излучениям относятся:

- ✓ гамма-излучение – электромагнитное фотонное излучение, испускаемое при ядерных превращениях;
- ✓ характеристическое – фотонное излучение, испускаемое при изменении энергетического состояния атома;
- ✓ тормозное – фотонное излучение, испускаемое при изменении кинетической энергии заряженных частиц;
- ✓ рентгеновское – совокупность тормозного и характеристического излучений, диапазон энергии фотонов которых составляет от 1 тысячи до 1 миллиона эВ;
- ✓ корпускулярное – излучение, состоящее из частиц с массой покоя, отличной от нуля, альфа- и бета частиц, протонов, нейтронов и др.

Для характеристики действия ионизирующих излучений используются следующие показатели: экспозиционная доза –  $X$ , поглощённая доза –  $D$ , эквивалентная доза –  $H$ .

**Экспозиционная доза ( $X$ )** – это полный заряд ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, которые были образованы фотонами в малом объёме воздуха, делённый на массу воздуха в этом объёме.

$$X = dQ/dm.$$

Единица экспозиционной дозы – кулон на килограмм, Кл/кг, внесистемная единица – рентген (Р).  $1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$  или  $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$ .

**Единица измерения** – кулон на килограмм в секунду (Кл/кг/с), или ампер на килограмм (А/кг), внесистемная единица – рентген в секунду (Р/с).

**Поглощённая доза ( $D$ )** – это средняя энергия, переданная излучением веществу в некотором элементарном объёме, деленная на массу вещества в этом объёме:

$$D = dE/dm.$$

**Единица поглощенной дозы** – грей (Гр), равный одному джоулю на килограмм (Дж/кг). Внесистемная единица – рад.  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ .

**Единица мощности поглощенной дозы** – грей в секунду (Гр/с). Внесистемная единица – рад в секунду (рад/с).

**Эквивалентная доза (H)** – величина, введенная для оценки опасности хронического облучения излучением произвольного состава и определяемая как произведение поглощенной дозы на средний коэффициент качества излучения (K):

$$H = D \cdot K.$$

**Коэффициент качества излучения K** – безразмерная величина, учитывающая различие в величине радиационного воздействия разных видов излучений. Например, для гамма-квантов и бета-частиц этот коэффициент равен единице, а для альфа-частиц  $K = 20$ .

Единицей эквивалентной дозы является зиверт (Зв).  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} \cdot K$ .

**Внесистемная единица эквивалентной дозы** – бэр (биологический эквивалент рентгена).  $1 \text{ бэр} = 1 \text{ рад} \cdot K$ .

В результате воздействия ионизирующего излучения в ткани поглощается энергия и возникает ионизация молекул, что ведёт к разрыву молекулярных связей и изменению химической структуры биологических объектов. Особенностью ионизирующих излучений является кумулятивное действие на организм. Кумулятивное действие оказывается особенно сильным при попадании в организм радиоактивных веществ, отлагающихся в определённых тканях. Под влиянием облучения происходит перерождение нормальных клеток в злокачественные, возникают лейкомия, лучевая болезнь.

Основными нормативными документами, регламентирующими безопасность работы с источниками ионизирующих излучений, являются "Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000)" и "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСП-2002)".

В соответствии с НРБ-2000 установлены три категории облучения: Категория А – профессиональное облучение лиц, работающих непосредственно с источниками ионизирующих излучений. Категория Б – облучение лиц, работающих в смежных помещениях, но не занятых непосредственно работой, связанной с радиационной опасностью. Категория В – облучение населения всех возрастных категорий.

При определении предельно допустимых доз (ПДД) внешнего и внутреннего облучения учитываются **три группы критических органов**:

1-я группа – всё тело, хрусталик глаза, кроветворные органы;

2-я группа – мышцы, жировая ткань, печень, почки, лёгкие и т.д.;

3-я группа – кожа, кости.

**Предельно допустимая доза облучения** – это наибольшая эквивалентная доза, действие которой на организм в течение 50 лет не вызывает в нём необратимых изменений, обнаруживаемых современными методами исследования.

Предельно допустимые дозы устанавливаются для разных категорий облучения и групп критических органов.

Так, например, ПДД внешнего облучения всего организма для категории А – 5 бэр в год, категории Б – 0,5 бэра в год, категории В – 0,05 бэра в год. Для категории А допускается однократная доза внешнего облучения 3 бэра, при условии, что годовая доза не превысит 5 бэр.

Исходя из существующих ПДД и групп критических органов, установлены **предельно допустимые концентрации (ПДК)** радиоактивных изотопов в воде

открытых водоёмов и источников водоснабжения, в воздухе рабочих помещений, санитарно-защитных зон, населённых пунктов.

**ПДК** – предельно допустимое количество радиоактивного изотопа в единице объёма или массы, поступление которого в организм естественными путями (с суточным потреблением воды, пищи, воздуха) не создаёт в критических органах или в организме в целом доз облучения, превышающих допустимые.

К основным методам защиты относятся: использование источников с минимально возможным выходом ионизирующих излучений (защита количеством), ограничение времени работы с источниками (защита временем), удаление рабочего места от источника (защита расстоянием), экранирование источников.

### ***Элементы дозиметрии ионизирующих излучений***

Основные формулы

Закон ослабления узкого пучка моноэнергетических  $\gamma$  -излучений при прохождении через поглощающее вещество.

а) ослабление плотности потока ионизирующих частиц или фотонов

$$J = J_0 e^{-mx}$$

где  $J_0$  — плотность потока частиц, падающих на поверхность вещества,  $J$  — плотность потока частиц после прохождения слоя вещества толщиной  $x$ ,  $m$  — линейный коэффициент ослабления (рис 42.1);

б) ослабление интенсивности излучений

$$I = I_0 e^{-mx},$$

где  $I$  — интенсивность  $\gamma$ -излучений в веществе на глубине  $x$ ,  $I_0$  — интенсивность  $\gamma$ -излучений, падающих на поверхность вещества.

Слоем половинного ослабления называется слой, толщина  $x_{1/2}$  которого такова, что интенсивность проходящих через него  $\gamma$ -излучений уменьшается в два раза:

$$x_{1/2} = \ln 2 / m = 0,693 / m.$$

Свойства градиента и производной по направлению Криволинейный интеграл Первоначально функции управления системой коммутации возлагались на операторов.

Доза излучения (поглощенная доза излучения)

$$D = \Delta W / \Delta m,$$

где  $\Delta W$  — энергия ионизирующего излучения, переданная элементу облучаемого вещества,  $\Delta m$  — масса этого элемента. Доза излучения выражается в греях (1 Гр = 1 Дж/кг). Мощность дозы излучения (мощность поглощенной дозы излучения)

$$D = \Delta D / \Delta t,$$

где  $\Delta t$  — время, в течение которого была поглощена элементом облучения доза излучения  $\Delta D$ .

Мощность дозы излучения выражается в греях в секунду (Гр/с).

Экспозиционная доза фотонного излучения (экспозиционная доза гамма- и рентгеновского излучения) есть величина, равная отношению суммы электрических зарядов  $\Delta Q$  всех ионов одного знака, созданных электронами, освобожденными в облученном воздухе при условии полного использования ионизирующей способности электронов, к массе  $\Delta m$  этого воздуха:

$$X = \Delta Q / \Delta m.$$

Единица экспозиционной дозы — кулон на килограмм (Кл/кг).

Мощность экспозиционной дозы фотонного излучения  $X$  есть величина, равная отношению экспозиционной дозы  $\Delta X$  фотонного излучения к интервалу времени  $\Delta t$ , за которое получена эта доза, т. е.

$$X = \Delta X / \Delta t.$$

Мощность экспозиционной дозы выражается в амперах на килограмм (А/кг).

Экспозиционная доза рентгеновского и  $\gamma$  - излучения, падающего на объект, экранированный защитным слоем толщиной  $x$ ,

$$X = X_0 e^{-\mu x}$$

где  $X_0$  — экспозиционная доза при отсутствии защитного слоя.

Экспозиционная доза  $\gamma$  -излучения, падающего за время  $t$  на объект, находящийся в воздухе на расстоянии  $R$  от точечного источника,

$$X = X_t / R^2,$$

где  $X$  — мощность экспозиционной дозы на расстоянии, равном единице. Поглощением  $\gamma$  -излучением в воздухе пренебрегаем.