

Учреждение образования  
«Международный государственный экологический  
университет им. А.Д. Сахарова»

Факультет мониторинга окружающей среды

**Специальность 1-31 04 05**

**Медицинская физика**

2020 - 2021 уч. г.

И  
О  
Н  
Ы

# Виды ионизирующего излучения и основные понятия дозиметрии

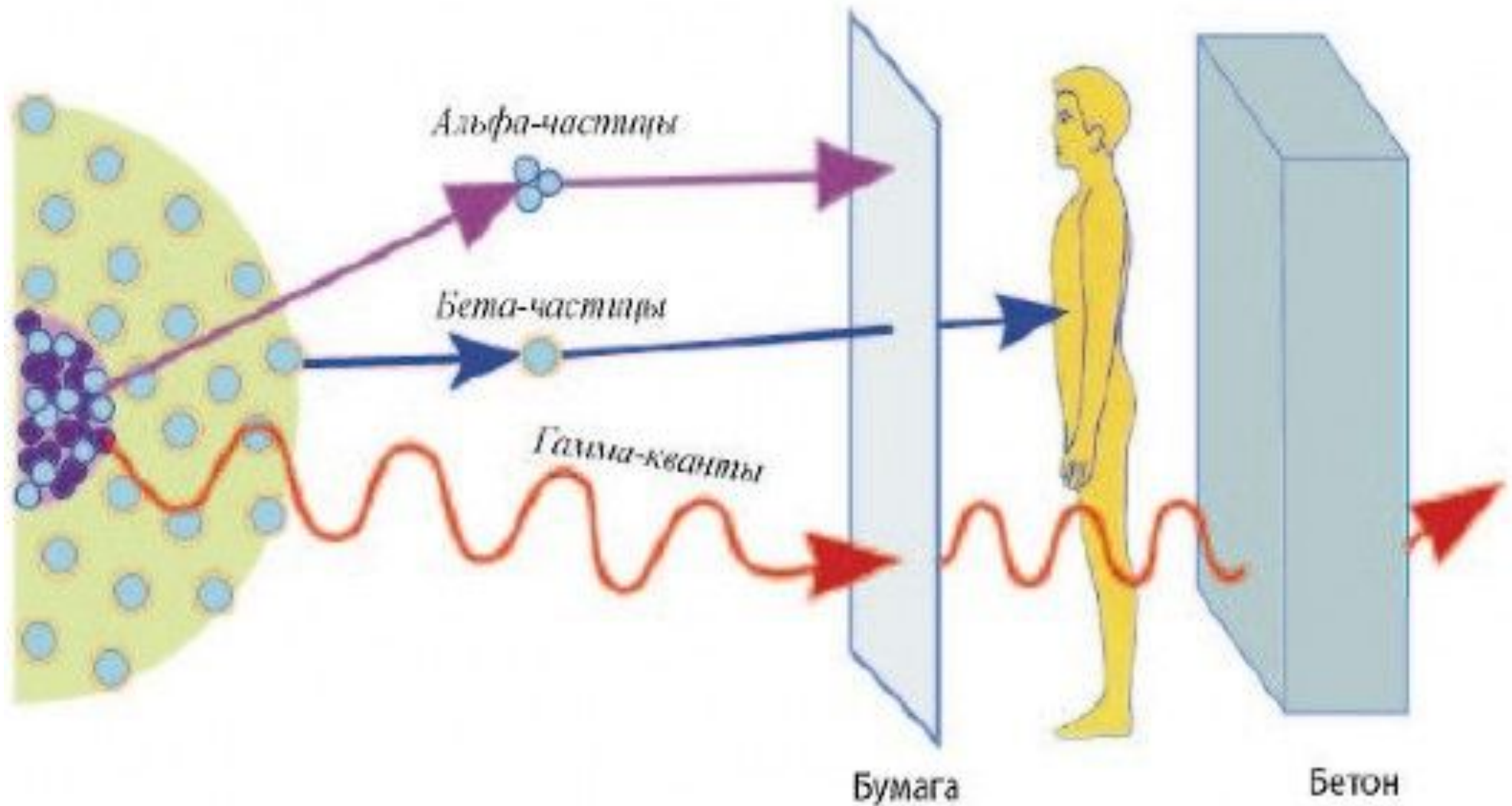
# ВВЕДЕНИЕ

- ▶ Важным свойством радиоактивности является ионизирующее излучение. Опасность этого явления для живого организма исследователи обнаружили с самого начала открытия радиоактивности.
- ▶ Так, А. Беккерель и М. Кюри-Склодовская, изучавшие свойства радиоактивных элементов, получили сильнейшие ожоги кожи от излучения радия.
- ▶ Ионизирующее излучение - любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию электрических зарядов разных знаков.
- ▶ Различают следующие виды ионизирующих излучений:
  - ▶  $\alpha$ -излучение
  - ▶  $\beta$ -излучение,
  - ▶ фотонное и
  - ▶ нейтронное излучение.

# ВВЕДЕНИЕ

- ▶ Ультрафиолетовое излучение и видимую часть светового спектра не относят к ионизирующим излучениям.
- ▶ Указанные выше виды излучения имеют различную проникающую способность, зависящую от носителя и энергии излучения.
- ▶ Энергию излучения измеряют в электрон-вольтах (эВ).
- ▶ За 1 эВ принята энергия, которую приобретает электрон при перемещении в ускоряющем электрическом поле с разностью потенциалов в 1 В.
- ▶ На практике чаще применяются десятичные кратные единицы: килоэлектрон-вольт ( $1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ}$ ) и мегаэлектронвольт ( $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$ ). Связь электрон-вольта с системной единицей энергии Дж задается выражением:
  - ▶  $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ .

# Виды радиоактивных излучений и их проникающая способность



# Альфа-излучение ( $\alpha$ -излучение)

- ▶ - ионизирующее излучение, представляющее собой поток относительно тяжелых частиц (ядер гелия, состоящих из двух протонов и двух нейтронов), испускаемых при ядерных превращениях.
- ▶ Энергия  $\alpha$ -частиц составляет порядка нескольких мегаэлектрон-вольт и различна для разных радионуклидов. При этом некоторые радионуклиды испускают  $\alpha$ -частицы нескольких энергий.
- ▶ Этот вид излучения, имея малую длину пробега частиц, характеризуется слабой проникающей способностью, задерживается даже листком бумаги.
- ▶ Например, пробег  $\alpha$ -частиц с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 2,5 см, а в биологической ткани лишь 31 мкм.

# Альфа-излучение ( $\alpha$ -излучение)

- ▶ Излучение практически не способно проникнуть через наружный слой кожи, образованный отмершими клетками.
- ▶ Поэтому  $\alpha$ -излучение не опасно до тех пор, пока радиоактивные вещества, испускающие альфа-частицы, не попадут внутрь организма через органы дыхания, пищеварения или через открытые раны и ожоговые поверхности.
- ▶ Степень опасности радиоактивного вещества зависит от энергии испускаемых им частиц.
- ▶ Поскольку энергия ионизации одного атома составляет единицы-десятки электрон-вольт, каждая  $\alpha$ -частица способна ионизировать до 100 000 молекул внутри организма.

# Бета-излучение

- ▶ - поток  $\beta$ -частиц (электронов и позитронов), обладающих большей проникающей способностью в сравнении с  $\alpha$ -излучением. Испускаемые частицы имеют **непрерывный энергетический спектр**, распределяясь по энергии от нуля до определенного максимального значения, характерного для данного радионуклида. Максимальная энергия  $\beta$ -спектра различных радионуклидов лежит в интервале от нескольких кэВ до нескольких МэВ.
- ▶ **Пробег  $\beta$ -частиц в воздухе может достигать нескольких метров, а в биологической ткани нескольких сантиметров.**
- ▶ Так, пробег электронов с энергией 4 МэВ в воздухе составляет 17,8 м, а в биологической ткани 2,6 см. Однако они легко задерживаются тонким листом металла.
- ▶ Как и источники  $\alpha$ -излучения,  $\beta$ -активные радионуклиды более опасны при попадании внутрь организма.



# Фотонное излучение

- ▶ включает в себя рентгеновское и гамма-излучение ( $\gamma$ -излучение). После радиоактивного распада атомное ядро конечного продукта часто оказывается в возбужденном состоянии.
- ▶ Переход ядра из этого состояния на более низкий энергетический уровень (в нормальное состояние) происходит с испусканием гамма-квантов.
- ▶ Таким образом,  $\gamma$ -излучение имеет внутриядерное происхождение и представляет собой довольно жесткое электромагнитное излучение с длиной волны  $10^{-8}$ - $10^{-11}$  нм.
- ▶ Энергия кванта  $\gamma$ -излучения  $E$  (в эВ) связана с длиной волны соотношением

$$E = 1230/\lambda$$

- ▶  $\lambda$  - выражена в нанометрах ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).

# Фотонное излучение

- ▶ Распространяясь со скоростью света,  $\gamma$ -лучи имеют высокую проникающую способность, значительно большую, чем  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы. Их может задержать лишь толстая свинцовая или бетонная плита.
- ▶ Чем выше энергия  $\gamma$ -излучения и, соответственно, меньше длина его волны, тем выше проникающая способность.
- ▶ Обычно энергия гамма-квантов лежит в диапазоне от нескольких кэВ до нескольких МэВ.
- ▶ В отличие от  $\gamma$ -излучения рентгеновское имеет атомное происхождение.
- ▶ Оно образуется в возбужденных атомах при переходе электронов с удаленных орбит на более близкую к ядру орбиту или возникает при торможении заряженных частиц в веществе.

# Фотонное излучение

- ▶ Соответственно первое имеет **дискретный** энергетический спектр и называется **характеристическим**, второе - **непрерывный** спектр и называется тормозным.
- ▶ Диапазон энергий рентгеновского излучения - от сотен эВ до десятков кэВ.
- ▶ Несмотря на различное происхождение этих излучений, природа их одинакова, и поэтому рентгеновское и  $\gamma$ -излучение называют фотонным излучением.
- ▶ Под действием фотонного излучения происходит облучение всего организма.
- ▶ Оно является **основным поражающим фактором при воздействии на организм излучения от внешних источников.**

# Нейтронное излучение

- ▶ Нейтронное излучение возникает при делении тяжелых ядер и в других ядерных реакциях.
- ▶ Источниками нейтронного излучения являются:
  - ▶ ядерные реакторы, плотность потока нейтронов в которых составляет  $10^{10}$ - $10^{14}$  нейтронов/(см·с);
  - ▶ изотопные источники, содержащие естественные или искусственные радионуклиды, смешанные с веществом, испускающим нейтроны под влиянием бомбардировки его  $\alpha$ -частицами или  $\gamma$ -квантами.
- ▶ Изотопные источники применяют для градуировки контрольно-измерительной аппаратуры. Они дают потоки порядка  $10^7$ - $10^8$  нейтронов/с.
- ▶ В зависимости от энергии нейтроны подразделяют на следующие типы:
  - ▶ медленные, или тепловые (со средней энергией  $\sim 0,025$  эВ);
  - ▶ резонансные (с энергией до 0,5 кэВ);
  - ▶ промежуточные (с энергией от 0,5 кэВ до 0,5 МэВ);
  - ▶ быстрые (с энергией от 0,5 до 20 МэВ);
  - ▶ сверхбыстрые (с энергией свыше 20 МэВ).

# Нейтронное излучение

- ▶ При взаимодействии нейтронов с веществом наблюдаются два типа процессов:
  - ▶ рассеяние нейтронов и
  - ▶ ядерные реакции, в том числе вынужденное деление тяжелых ядер.
- ▶ Именно с последним видом взаимодействий связано возникновение цепной реакции, происходящей при атомном взрыве (неуправляемая цепная реакция) и в ядерных реакторах (управляемая цепная реакция) и сопровождающейся выделением огромных количеств энергии.
- ▶ Проникающая способность нейтронного излучения сравнима с  $\gamma$ -излучением.
- ▶ Тепловые нейтроны эффективно поглощаются материалами, содержащими бор, графит, свинец, литий, гадолиний и некоторые другие вещества.
- ▶ Быстрые нейтроны эффективно замедляются парафином, водой, бетоном и др.

# Основные понятия дозиметрии

- ▶ Имея разную проникающую способность, ионизирующие излучения различных типов оказывают различное воздействие на ткани живого организма.
- ▶ При этом повреждений, вызываемых излучением, будет тем больше, чем большая энергия воздействует на биологический объект.  
Количество энергии, переданное организму при ионизирующем воздействии, называется дозой.
- ▶ Физической основой дозы ионизирующего излучения является преобразование энергии излучения в процессе его взаимодействия с атомами или их ядрами, электронами и молекулами облучаемой среды, в результате которого часть этой энергии поглощается веществом.
- ▶ Поглощенная энергия является первопричиной процессов, приводящих к наблюдаемым радиационно-индуцированным эффектам, и потому дозиметрические величины оказываются связанными с поглощенной энергией излучения.

# Основные понятия дозиметрии

- ▶ Дозу облучения можно получить от любого радионуклида или от их смеси независимо от того, находятся они вне организма или внутри него в результате попадания с пищей, водой или воздухом.
- ▶ Дозы рассчитываются по-разному с учетом того, каков размер облученного участка и где он расположен, один ли человек подвергся облучению или группа людей и в течение какого времени это происходило.
- ▶ Количество энергии, поглощенное единицей массы облучаемого организма, называется поглощенной дозой и измеряется в системе СИ в греях (Гр).
- ▶ Размерность грея - джоуль, деленный на килограмм массы (Дж/кг). Однако величина поглощенной дозы не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе  $\alpha$ -излучение и нейтронное излучение гораздо опаснее, чем  $\beta$ -излучение или  $\gamma$ -излучение.

# Основные понятия дозиметрии

- ▶ Поэтому для более точной оценки степени поражения организма величину поглощенной дозы надо увеличить на некоторый коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать биологические объекты.
- ▶ Такой коэффициент называется **радиационным взвешивающим фактором**:
- ▶ *для  $\beta$  и  $\gamma$ -излучений принимается равной 1,*
- ▶ *для  $\alpha$ -излучения - 20,*
- ▶ *для нейтронного излучения изменяется в диапазоне 5-20 в зависимости от энергии нейтронов.*
- ▶ Пересчитанную таким образом дозу называют **эквивалентной дозой**, которая в системе СИ измеряется в зивертах (Зв).
- ▶ Размерность зиверта такая же, как у грея - Дж/кг.
- ▶ **Доза, полученная за единицу времени, классифицируется в системе СИ как мощность дозы и имеет размерность Гр/с или Зв/с.**
- ▶ В системе СИ допустимо применение несистемных единиц измерения времени, таких как час, сутки, год, поэтому при расчете доз применяют такие размерности, как Зв/ч, Зв/сут, Зв/год.



# Основные понятия дозиметрии

- ▶ До сих пор в геофизике, геологии и частично в радиоэкологии применяется несистемная единица дозы - рентген.
- ▶ Эта величина была введена в употребление еще на заре атомной эры (в 1928 г.) и использовалась для измерения величины экспозиционной дозы.
- ▶ Рентген равен такой дозе  $\gamma$ -излучения, которая создает в одном кубическом сантиметре сухого воздуха общий заряд ионов, равный одной единице электрического заряда.

# Основные понятия дозиметрии

- ▶ При измерении в воздухе экспозиционной дозы  $\gamma$ -излучения используются соотношения между рентгеном и греем:
- ▶  $1 \text{ Р} = 8,77 \text{ мДж/кг}$  или  $8,77 \text{ мГр}$ .
- ▶ Соответственно  **$1 \text{ Гр} = 114 \text{ Р}$** .
- ▶ В дозиметрии сохранилась еще одна внесистемная единица - рад, равная поглощенной дозе облучения, при которой  $1 \text{ кг}$  облучаемого вещества поглощает энергию, равную  $0,01 \text{ Дж}$ .
- ▶ Соответственно  $1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Гр}$ .
- ▶ В настоящее время эта единица выходит из употребления.

# Коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении всего тела



# Основные понятия дозиметрии

- ▶ При расчете доз, получаемых организмом, следует учитывать, что одни части тела (органы, ткани) более чувствительны к облучению, чем другие. В частности, при **одинаковой эквивалентной дозе поражение легких более вероятно, чем, например, щитовидной железы.**
- ▶ Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) были разработаны **пересчетные коэффициенты**, которые рекомендуется использовать при оценке дозы облучения различных органов и биологических тканей человека (рис.).
- ▶ После умножения величины эквивалентной дозы для данного органа на соответствующий коэффициент и суммирования ее по всем органам и тканям получают **эффективную эквивалентную дозу, отражающую суммарный эффект от облучения на организм.** Эта доза также измеряется в зивертах. Описанное понятие дозы характеризует лишь индивидуально получаемые дозы.
- ▶ При необходимости изучения эффектов действия радиации на группу людей используется понятие **коллективной эффективной эквивалентной дозы**, которая равна сумме индивидуальных эффективных эквивалентных доз и измеряется в человеко-зивертах (чел.-Зв).

# Основные понятия дозиметрии

- ▶ Поскольку многие радионуклиды распадаются очень медленно и будут действовать на население в отдаленном будущем, коллективную эффективную эквивалентную дозу от подобных источников будут получать еще многие поколения людей, живущих на планете.
- ▶ Для оценки указанной дозы введено понятие **ожидаемой (полной) коллективной эффективной эквивалентной дозы**, которая позволяет прогнозировать поражение группы людей от действия постоянных источников радиации.
- ▶ Для наглядности описанная выше система понятий проиллюстрирована на слайде.

# Обобщенное представление системы понятий о дозах радиационного облучения населения

