

**ОСНОВЫ**

**ДОЗИМЕТРИИ**

## План урока

1. Проанализировать презентацию.
2. Заполнить таблицу.
3. Решить 2 задачи по образцу (в конце презентации).
4. Посмотреть вопросы теста и подготовиться к консультации.

Доза (название)	Что показывает	Обозна- чение	Формула (если есть)	Единицы измерения		Перевод единиц
				СИ	внесистемн	
Экспозицион- ная доза						
Поглощенная доза						
Эквивалентная доза						
Эффективная доза						
Ожидаемая эф- фективная доза						
Амбивалентный эквивалент						
Пороговая						
Минимальная летальная						
Удваивающая						

# Доза излучения

Используется в

- радиационной безопасности,
- физике,
- радиобиологии.

Величина, используемая для **оценки степени воздействия ионизирующего излучения на** любые вещества, **живые организмы** и их ткани.

## Мощность дозы

Мощность дозы  
(интенсивность облучения)  
— **приращение**  
**соответствующей дозы** под  
воздействием данного  
излучения **за единицу**  
**времени.**

Имеет **размерность**  
**соответствующей дозы**  
(поглощённой,  
экспозиционной и т.  
п.), **делённую на единицу**  
**времени.**

Допускается использование  
различных специальных  
единиц (например, Зв/час,  
бэр/мин, мЗв/год и др.).

<b>Физическая величина</b>	<b>Внесистемная единица</b>	<b>Единица СИ</b>	<b>Переход от внесистемной единицы к СИ</b>
Активность нуклида в радиоактивном источнике ( <b>A</b> )	Кюри ( <b>Ки</b> )	Беккерель ( <b>Бк</b> )	$1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Экспозиционная доза ( <b>X</b> )	Рентген ( <b>Р</b> )	<b>Кл/кг</b>	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Поглощенная доза ( <b>D</b> )	Рад ( <b>рад</b> )	Грей ( <b>Дж/кг</b> )	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$
Эквивалентная доза ( <b>H</b> )	Бэр ( <b>бэр</b> )	Зиверт ( <b>Зв</b> )	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$
Мощность экспозиционной дозы ( <b>X/t</b> )	Рентген/с ( <b>Р/с</b> )	<b>Кл/кг*с</b>	$1 \text{ Р/с} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг*с}$
Мощность поглощенной дозы ( <b>D/t</b> )	Рад/сек ( <b>Рад/с</b> )	Грей/сек ( <b>Гр/с</b> )	$1 \text{ рад/с} = 0.01 \text{ Гр/с}$
Мощность эквивалентной дозы ( <b>H/t</b> )	Бэр/сек ( <b>бэр/с</b> )	Зиверт/сек ( <b>Зв/с</b> )	$1 \text{ бэр/с} = 0.01 \text{ Зв/с}$
Интегральная доза	Рад/грамм ( <b>Рад/г</b> )	Грей/кг ( <b>Гр/кг</b> )	$1 \text{ рад-г} = 10^{-5} \text{ Гр-кг}$

**Доза  
излучения**

**Мощность  
дозы**

**Дозы  
поглощения**

**Дозы  
излучения**

**Активность  
нуклида в  
радиоактивном  
источнике (A)**

**Экспозиционная  
доза (X)**

**Поглощенная доза (D)**

**Эквивалентная доза (H)**

**Эффективная доза (E)**

**Ожидаемая  
эффективная доза  $E(\tau)$**

**Амбиентный  
эквивалент дозы  $H^*(d)$**

## Экспозиционная доза (X)

$$X = q/m$$

Основная характеристика взаимодействия ионизирующего излучения со средой — это **ионизационный** эффект.

Экспозиционная доза — количественная мера, основанная на величине ионизации сухого воздуха при нормальном атмосферном давлении, достаточно легко поддающаяся измерению.

Как **физическая величина** — это **отношение суммарного электрического заряда ионов одного знака**, образованных после полного торможения в воздухе электронов и позитронов, освобождённых или порождённых фотонами в элементарном объёме воздуха, **к массе воздуха** в этом объёме.

В международной системе единиц (СИ) единица измерения **Кл/кг**.

**Внесистемная единица** — **рентген (Р)**.

$$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р.}$$

$1 \text{ Р} = 2,57976 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ , что соответствует образованию  $2,08 \cdot 10^9$  пар ионов в  $1 \text{ см}^3$

воздуха (при  $0^\circ \text{C}$  и давлении 760 мм. рт. ст.).



## Поглощенная доза (D)

Мера **воздействия ионизирующего излучения** на вещество не поддаётся простому определению из-за сложности и многообразности протекающих при этом процессов. Важным из них, дающим начало физико-химическим изменениям в облучаемом веществе и приводящим к определённому радиационному эффекту, является **поглощение энергии** ионизирующего излучения веществом.

$$D = W/m.$$

Поглощённая доза показывает, какое **количество энергии** излучения **поглощено единицей массы** облучаемого вещества и определяется отношением поглощённой энергии ионизирующего излучения к массе поглощающего вещества.

- За единицу измерения в системе СИ принят **грей** (Гр). 1 Гр — это такая доза, при которой массе 1 кг передаётся энергия ионизирующего излучения в 1 джоуль.
- Внесистемной единицей поглощённой дозы является **рад**. 1 Гр = 100 рад.
- 1 Р соответствует поглощенной дозе 0,96 рад в биологической ткани, приблизительно: 1Р → 1 рад = 0,01 Гр.

## Эквивалентная доза (H)

Изучение отдельных последствий облучения живых тканей показало, что **при одинаковых поглощённых дозах различные виды радиации производят неодинаковое биологическое воздействие** на организм.

Обусловлено это тем, что более тяжёлая частица (например, протон) производит на единице длины пути в ткани больше ионов, чем лёгкая (например, электрон).

При одной и той же поглощённой дозе радиобиологический разрушительный эффект тем выше, чем плотнее ионизация, создаваемая излучением.

$$H_{TR} = W_R D_{cp}$$

Эквивалентная доза рассчитывается путём умножения значения поглощённой дозы на специальный коэффициент— взвешивающий коэффициент излучения, учитывающий относительную биологическую эффективность различных видов радиации.

**Единицей в СИ является зиверт (Зв).**

Величина 1 Зв равна эквивалентной дозе любого вида излучения, поглощённой в 1 кг биологической ткани и создающей такой же биологический эффект, как и поглощённая доза в 1 Гр фотонного излучения.

Внесистемной единицей измерения эквивалентной дозы является бэр (до 1954 года - биологический эквивалент рентгена, после 1954 года - биологический эквивалент рада).

1 Зв = 100 бэр.

## Эффективная доза (E)

Одни органы и ткани человека более чувствительны к действию радиации, чем другие: например, при одинаковой эквивалентной дозе возникновение рака в лёгких более вероятно, чем в щитовидной железе, а облучение половых желез особенно опасно из-за риска генетических повреждений. Поэтому дозы облучения разных органов и тканей следует учитывать с разным коэффициентом, который называется взвешивающим коэффициентом ткани.

### Взвешивающие коэффициенты

устанавливают эмпирически и рассчитывают таким образом, чтобы их сумма для всего организма составляла единицу.

$$E = \sum k_i \times H_i$$

**Эффективная доза** — величина, используемая как **мера риска возникновения отдалённых последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учётом их радиочувствительности.**

Умножив значение эквивалентной дозы на соответствующий взвешивающий коэффициент и просуммировав по всем тканям и органам, получим эффективную дозу, отражающую суммарный эффект для организма.

Единицы измерения **эффективной** дозы **совпадают** с единицами измерения **эквивалентной** дозы. Она также измеряется в зивертах или бэрах.

## Ожидаемая эффективная доза $E(\tau)$

- Доза **внутреннего облучения** от поступивших в организм человека радионуклидов.

Время облучения человека такими радионуклидами определяется периодами их полураспада и биологического удержания в организме и может составлять многие месяцы и даже годы.

Для целей регулирования полный период накопления дозы устанавливается равным **50 лет** для взрослого человека (если оценивается доза для детей, до достижения **70 лет**).

**При оценке годовой дозы ожидаемая эффективная доза суммируется с эффективной дозой от внешнего облучения за этот же период.**

**Эффективная и эквивалентная дозы**— это **нормируемые величины**, то есть, величины, являющиеся мерой ущерба (вреда) от воздействия ионизирующего излучения на человека.

К сожалению, они не могут быть непосредственно измерены. Поэтому в практику введены операционные дозиметрические величины, однозначно определяемые через физические характеристики поля излучения в точке, максимально возможно приближенные к нормируемым.

Основной операционной величиной является **амбиентный эквивалент дозы**. (синонимы— эквивалент амбиентной дозы, амбиентная доза).

# Амбиентный эквивалент дозы $H^*(d)$

— эквивалент дозы, который был создан в шаровом фантоме МКРЕ (международной комиссии по радиационным единицам) на глубине  $d$  (мм) от поверхности по диаметру, параллельному направлению излучения, в поле излучения, идентичном рассматриваемому по составу, флюенсу и энергетическому распределению, но мононаправленном и однородном. то есть

амбиентный эквивалент дозы — это **доза, которую получил бы человек, если бы он находился на месте, где проводится измерение.**

**Единица** амбиентного эквивалента дозы — зиверт (Зв).

**Пороговая** — доза, ниже которой не отмечены проявления данного эффекта облучения.

**Минимально летальная** — минимальная доза излучения, вызывающая гибель всех облучённых объектов.

**Предотвращаемая** — прогнозируемая доза вследствие радиационной аварии, которая может быть предотвращена защитными мероприятиями.

**Удваивающая** — доза, которая увеличивает в 2 раза (или на 100%) уровень спонтанных мутаций. Удваивающая доза обратно пропорциональна относительному мутационному риску.

**При однократном равномерном облучении всего тела и неоказании специализированной медицинской помощи смерть в результате острой лучевой болезни наступает в 50% случаев:**

<b>Доза, Гр</b>	<b>Поврежденные органы</b>	<b>Срок, сутки</b>
3—5	Костный мозг	30-60
$10 \pm 5$	Легкие, желудочно-кишечный тракт	10-20
15	Нервная система	1-5



# Воздействие различных доз облучения на человеческий организм

Доза, Гр	Причина и результат воздействия
$(0.7 - 2) \cdot 10^{-3}$	Доза от естественных источников в год
0.05	Предельно допустимая доза профессионального облучения в год
0.1	Уровень удвоения вероятности генных мутаций
0.25	Однократная доза оправданного риска в чрезвычайных обстоятельствах
1.0	Доза возникновения острой лучевой болезни
3- 5	Без лечения 50% облученных умирает в течение 1-2 месяцев вследствие нарушения деятельности клеток костного мозга
10 - 50	Смерть наступает через 1-2 недели вследствие поражений главным образом желудочно кишечного тракта
100	Смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы

## Допустимые дозы для человека

Согласно постановлению главного государственного санитарного врача России за №11 от 21 апреля 2006г. «Об ограничении облучения населения при проведении рентгенорадиологических медицинских исследований», п.3.2, необходимо «обеспечить соблюдение годовой эффективной дозы **1мЗв** при проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований, в том числе при проведении диспансеризации».

**Среднемировая доза облучения от рентгенологических исследований, накопленная на душу населения за год, равна 0,4 мЗв**, однако в странах с высоким уровнем доступа к медобслуживанию этот показатель растёт до 1,2 мЗв.

### **Облучение от других техногенных источников**

значительно меньше:

0,005 мЗв от радионуклидов, оставшихся от атмосферных ядерных испытаний,

0,002 мЗв от Чернобыльской катастрофы,

0,0002 мЗв от ядерной энергетики.

## Групповая доза.

Подсчитав индивидуальные эффективные дозы, полученные отдельными людьми, можно прийти к коллективной дозе— сумме индивидуальных эффективных доз в данной группе людей за данный промежуток времени.

Коллективную дозу можно подсчитать для населения отдельной деревни, города, административно-территориальной единицы, государства и т. д.

Коллективная доза может накапливаться в течение длительного времени, даже не одного поколения, а охватывая последующие поколения.

Её получают путём **умножения средней эффективной дозы на общее количество людей**, которые находились под воздействием излучения.

Единицей измерения коллективной дозы является человеко-зиверт(чел.-Зв.), внесистемная единица—человеко-бэр(чел.-бэр).

**Среднемировая доза  
облучения от  
естественных  
источников,  
накопленная на душу  
населения за год**

**2,4 мЗв,**

**С разбросом  
от 1 до 10 мЗв.**

**Основные компоненты:**

**0,4 мЗв** от космических лучей (от 0,3 до 1,0 мЗв, в зависимости от высоты над уровнем моря);

**0,5 мЗв** от внешнего гамма-излучения (от 0,3 до 0,6 мЗв, в зависимости от радионуклидного состава окружения — почвы, стройматериалов и т.п.);

**1,2 мЗв** внутреннего облучения от ингалируемых атмосферных радионуклидов, главным образом радона (от 0,2 до 10 мЗв, в зависимости от местной концентрации радона в воздухе);

**0,3 мЗв** внутреннего облучения от инкорпорированных радионуклидов (от 0,2 до 0,8 мЗв, в зависимости от радионуклидного состава пищевых продуктов и воды).

## Толщина слоя половинного ослабления. $(h)$

Толщина  $h$  слоя перекрытия, **ослабляющего данное ионизирующее излучение в 2 раза**

Лучше всего **нейтронное** излучение ослабляет **вода** (в 4 раза лучше бетона и в 3 раза лучше свинца).

Толщина слоя половинного ослабления нейтронного излучения для **воды равна 3 см.**

**Гамма-излучение** лучше всего поглощается **свинцом** (в 1,5 раза лучше стальной брони и в 22 раза лучше воды).

Толщина слоя половинного ослабления  $\gamma$ -излучения для **свинца равна 2 см.**

## Задача 1.

Во сколько раз ослабит нейтронное излучение слой воды толщиной 30 см?

Толщина слоя половинного ослабления нейтронного излучения для воды равна 3 см.

Каждые 3 см воды ослабляют излучение в 2 раза.

$30 \text{ см} = 3 \text{ см} \times 10 \text{ раз}$ .

Излучение ослабнет в  $2^{10}$  раз.

## Задача 2.

Какой толщины нужен слой свинца, чтобы ослабить  $\gamma$ -излучение в 16 раз?

Толщина слоя половинного ослабления  $\gamma$ -излучения для свинца равна 2 см.

$$16=2^4$$

Слой свинца в 2 см ослабляет гамма-излучение в 2 раза.

$$L=2\text{см} \times 4=8\text{см}$$



## Задача 3.

$$X = q/m$$

Под действием космических лучей в воздухе объемом  $V = 1$  см<sup>3</sup> на уровне моря образуется в среднем  $N = 120$  пар ионов за промежуток времени  $\Delta t = 1$  мин. Определить экспозиционную дозу  $X$  излучения, действию которого подвергается человек за время  $t = 1$  сут.

**это отношение суммарного электрического заряда ионов одного знака**, образованных после полного торможения в воздухе электронов и позитронов, освобождённых или порождённых фотонами в элементарном объёме воздуха, **к массе воздуха** в этом объёме.

1.  $q = 120$  (так как одного знака)  $\times 1,6 \times 10^{-19}$  Кл (заряд иона и электрона)  $\times 24 \times 60$  (число минут в сутках)

$$= 120 \times 1,6 \times 10^{-19} \times 24 \times 60 = 2,8 \times 10^{-14} \text{ Кл.}$$

2.  $m = 1,23 \text{ кг/м}^3$  (плотность воздуха)  $\times 1 \times 10^{-6} \text{ м}^3$  (объем)  $= 1,23 \times 10^{-6} \text{ кг}$

$$3. X = 2,8 \times 10^{-14} \text{ Кл} / 1,23 \times 10^{-6} \text{ кг} = 2,3 \times 10^{-8} \text{ Кл/кг}$$



## Задача 4. $D = W/m.$

Средняя поглощенная доза излучения сотрудником, работающим с рентгеновской установкой, равна 7 мкГр за 1 ч. Опасна ли работа сотрудника в течение 200 дней в году по 6 ч в день, если предельно допустимая доза облучения равна 50 мГр в год?

Поглощённая доза показывает, какое **количество энергии** излучения **поглощено единицей массы** облучаемого вещества и определяется отношением поглощённой энергии ионизирующего излучения к массе поглощающего вещества.

$$1. \text{ Нам дано } k = D/1\text{час} \rightarrow D = k \times t / 1\text{час} = 7\text{мкГр} \times 200 \times 6\text{час} / 1\text{час} = 84 \times 10^{-4}\text{Гр} = 8,4 \times 10^{-3}\text{Гр} = 8,4\text{мГр}$$

$$2. 8,4\text{мГр} < 50\text{мГр}$$

**Ответ:**  $D <$  допустимой дозы

1/ Мощность дозы гамма излучения радиоактивных изотопов в зоне заражения равно  $200 \text{ мкГр/час}$ . В течение какого времени человек сможет работать в этой зоне без вреда для здоровья, если в аварийной обстановке в качестве допустимой принята доза  $25 \text{ мЗв}$ ?

2/ Вычислить толщину слоя половинного ослабления параллельного пучка  $\gamma$ -излучения для воды.

3/ Перевести из внесистемных единиц в систему СИ:

$100 \text{ бэр} =$

$100 \text{ Р} =$

$100 \text{ рад} =$

$10^{11} \text{ Ки} =$

## **Вопросы Итогового теста**

- 1.Изотопы. Определить изотопы.
- 2.Ядерные силы.
- 3.Энергия связи.
- 4.Расчет дефекта масс. (См учебник )
- 5.Расчет энергии связи.
- 6.Физическое- химическое- биологическое действие радиации.
- 7.Опасность различных видов.
- 8.Методы защиты.
- 9.Расчет толщины ослабляющего воздействия.
- 10.Методы регистрации частиц (узнать метод).
- 11.Методы регистрации частиц (техническая реализация).
- 12.Дозиметрия (узнать определение)
- 13.Переход из внесистемных единиц в единицы системы СИ
- 14.Дозиметрия (задача).