

Контрольная работа № 3:

1. Перечислите основные виды ионизирующих излучений.
2. Что такое электромагнитные излучения?
3. Перечислите основные виды электромагнитных излучений.
4. Чем определяется «жесткость» и проникающая способность электромагнитных излучений?
5. Охарактеризуйте основные механизмы взаимодействия ЭМИ с веществом.
6. Какие вещества используют для защиты от ЭМИ и почему?
7. Что такое корпускулярные излучения?
8. Перечислите основные виды корпускулярных излучений.
9. Основные виды нейтронов в зависимости от их энергии.
10. Каков механизм взаимодействия корпускулярных частиц с веществом?
11. Что такое упругое и неупругое рассеяние?
12. Что такое ЛПЭ?
13. В каких единицах измеряется ЛПЭ?
14. Какие излучения относят к редко- и плотноионизирующим?
15. Как ЛПЭ зависит от скорости заряженных частиц?

Тема: ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОЙ ДОЗИМЕТРИИ

План:

1. Основные радиометрические параметры
2. Дозиметрические величины и их единицы
3. Относительная биологическая эффективность
4. Инструментальные методы дозиметрии и применяемые приборы
5. Способы передачи дозы облучаемым объектам
6. Дозы внутреннего облучения

Поле ионизирующего излучения

- Облучение объекта достигается тем, что его на определенное время помещают в пространство, в котором действует ионизирующее излучение (есть поток радиации). Это пространство называют **полем ионизирующего излучения**.
- Для исследования действия ионизирующих излучений нужна точная спецификация радиационного поля, то есть пространства, в котором регистрируется излучение. Эту спецификацию определяют методами **радиометрии**.

Основные радиометрические параметры

- **число частиц N** , излученных, перенесенных или поглощенных облучаемым объектом;
- **энергия ионизирующего излучения E** (без учета энергии покоя частиц);
 $[E] = 1 \text{ Дж};$
- **поток ионизирующих частиц J_p** $J_p = dN/dt$, где dN — количество ионизирующих частиц, которые проходят сквозь данную поверхность за интервал времени dt .
 $[J_p] = 1 \text{ с}^{-1};$
- **поток ионизирующего излучения J_r** — отношение энергии dE ионизирующего излучения, которое проходит сквозь данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу: $J_r = dE / dt$, $[J_r] = 1 \text{ Вт};$

Основные радиометрические параметры

- **перенос (флюенс) ионизирующих частиц Φ_r** — отношение числа dN ионизирующих частиц, которые проникают в элементарную сферу, к площади dS центрального сечения этой сферы: $\Phi_r = dN / dS$; $[\Phi_r] = 1 \text{ м}^{-2}$;
- **перенос (флюенс) энергии ионизирующего излучения Φ** — отношение энергии dE ионизирующего излучения, которое проникает в элементарную сферу, к площади dS центрального сечения этой сферы: $\Phi = dE/dS$;
 $[\Phi_r] = 1 \text{ Дж/м}^2$;
- **плотность потока ионизирующих частиц ϕ_r** — отношение потока dJ_P ионизирующих частиц, проникающих в элементарную сферу, к площади dS центрального сечения этой сферы: $\phi_r = dJ_P / dS$, $[\phi_r] = 1 \text{ с}^{-1} \times 1 \text{ м}^{-2}$;
- **плотность потока ионизирующего излучения ϕ_r** — отношение потока J_r ионизирующего излучения проникающего в элементарную сферу, к площади dS центрального сечения этой сферы: $\phi_r = dJ_r / dS$, $[\phi_r] = 1 \text{ Вт/м}^2$.

Дозиметрические величины и их единицы. Экспозиционная доза

- Общее представление о количестве падающей на объект энергии излучения за время облучения может быть получено измерением экспозиционной дозы (X), которая является мерой ионизационного воздействия излучения на воздух.
- $X = da / dm$, где da – полный заряд ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, образованных фотонами в малом объеме воздуха; dm – масса воздуха в этом объеме.
- Единицы X: кулон на килограмм (Кл/кг)(Си)
- Внесистемной единицей является Рентген (Р), $1Р = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.
- Экспозиционная доза позволяет лишь ориентировочно оценивать степень повреждения объекта, поскольку оно может вызываться только поглощенной объектом энергией.

Поглощенная доза

- Поглощенная доза (D) определяется средним количеством энергии, поглощенной единицей массы облучаемого вещества.
- $D = dE / dm$, где dE – средняя энергия, переданная излучением веществу в некотором элементарном объеме, dm – масса вещества.
- Единицы D: Грэй (Гр), $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг (Си)}$.
- Внесистемной единицей является Рад (рад), $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$.
- В лучевой терапии часто используют понятие интегральной дозы, т.е. энергии, суммарно поглощенной во всем объеме объекта (при локальном облучении).

Эквивалентная доза

- Эквивалентная доза (Н) используется для оценки радиационной опасности хронического воздействия излучения произвольного состава, определяется соотношением $H=KD$, где K – коэффициент качества.
- $K = 1$ для рентгеновского, гамма - и бета – излучений;
- $K = 5$ для медленных нейтронов;
- $K = 10$ для протонов и быстрых нейтронов;
- $K = 20$ для альфа-частиц.
- Единицы H : Зиверт (Зв) (Си)
- В практике используют внесистемную единицу Бэр (бэр), $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$.

Активность излучения

- Активность излучения (A) определяется числом атомных ядер, распадающихся за единицу времени, т.е. это единица радиоактивности.
- Единицы A: Беккерель (Бк), $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп./с}$ (СИ)
- Внесистемной единицей является кюри (Ки), $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$.

Дозиметрические величины и их единицы

- Для характеристики распределения поглощенной дозы во времени используют величину мощности поглощенной и экспозиционной доз, или интенсивности облучения – количество энергии излучения, поглощаемой в единицу времени (1ч, 1 мин, 1 с) единицей массы вещества.
- Коэффициент радиационного риска – это эквивалентная доза облучения всего организма в Зивертах, которая приводит к тем же последствиям, что и облучение данного органа эквивалентной дозой в 1 Зв. Если для организма в целом $k_r=1$, то для красного костного мозга он равен 0,12, для половых желез – 0,25, для молочных желез – 0,15, для легких – 0,12, для щитовидной железы – 0,03 и т.д.
- Умножив эквивалентную дозу на соответствующие коэффициенты радиационного риска и просуммировав по всему организму, органу или группе органов, получим эффективную эквивалентную дозу, отражающую суммарный эффект облучения:
$$H_{эфф} = \sum K_i H_i$$
 где K – коэффициент радиационного риска i -того органа; H_i – эквивалентная доза излучения, поглощенного этим органом. Она также измеряется в Зивертах.

Коллективная эквивалентная и коллективная эффективная дозы

- Для количественной оценки облучения определенной популяции людей, всего населения или отдельных его групп применяют специальные величины — **коллективную эквивалентную и коллективную эффективную дозы**.
- Выражение для вычисления коллективной дозы D_c с учетом ее эффективности и эквивалентности, имеет такой общий вид: $D_c = \sum D_i N_l(D_i) dD_i$, где D_i — индивидуальная эквивалентная и эффективная доза; $N_l(D_i) dD_i$, — число людей, облученных в дозе от D_i до $D_i + dD_i$.
- Суммарная коллективная доза для населения составляет арифметическую сумму коллективных доз, которые получили отдельные группы, испытавшие облучение.
- Единица коллективной дозы: $[D_c] = \text{чел.} \cdot \text{Зв}$ (человеко-зиверт).
- Коллективная доза может накапливаться на протяжении определенного времени, и в этом случае рассматривается **мощность коллективной дозы** — значение коллективной дозы, которая формируется за единицу времени.
- Коллективные дозы также могут быть уже накопленными или ожидаемыми за определенный промежуток времени. Их определяют интегрированием мощности ожидаемой коллективной дозы по времени.
- Рассмотренные величины можно использовать для нормирования дозовых нагрузок не только на человека, но и на любую биологическую систему.

**Основные физические величины, используемые
в радиационной биологии, и их единицы**

Физическая величина	Единица, ее наименование, обозначение (международное, русское)		Соотношение между единицами	
	внесистемная	системы СИ	внесистемной и системы СИ	системы СИ и внесистемной
Активность нуклида в радиоактивном источнике	кюри (Ci, Ки)	беккерель (Bq, Бк)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$	$1 \text{ Бк} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки}$
Экспозиционная доза излучения	рентген (R, Р)	кулон на килограмм С/kg, Кл/кг)	$1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$	$1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$
Мощность экспозиционной дозы излучения	рентген в секунду (R/s, Р/с)	ампер на килограмм (А/kg, А/кг)	$1 \text{ Р/с} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ А/кг}$	$1 \text{ А/кг} = 3876 \text{ Р/с}$
Поглощенная доза излучения	рад (rad, рад)	грей (Gy, Гр)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$
Мощность поглощенной дозы излучения	рад в секунду (rad/s, рад/с)	грей в секунду (Gy/s, Гр/с)	$1 \text{ рад/с} = 0,01 \text{ Гр/с}$	$1 \text{ Гр/с} = 100 \text{ рад/с}$
Интегральная доза излучения	рад-грамм (rad·g, рад·г)	джоуль (J, Дж)	$1 \text{ рад} \cdot \text{г} = 10^{-5} \text{ Дж}$	$1 \text{ Дж} = 10^5 \text{ рад} \cdot \text{г}$
Эквивалентная доза излучения	бэр (rem, бэр)	зиверт (Sv, Зв)	$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$
Мощность эквивалентной дозы излучения	бэр в секунду (rem/s, бэр/с)	зиверт в секунду (Sv/s, Зв/с)	$1 \text{ бэр/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$	$1 \text{ Зв/с} = 100 \text{ бэр/с}$

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

Множитель	Приставка		Множитель	Приставка	
	наименование	обозначение ¹		наименование	обозначение ¹
10^{12}	тера	T/Т	10^{-1}	деци	d/д
10^9	гига	G/Г	10^{-2}	санتي	c/с
10^6	мега	M/М	10^{-3}	милли	m/м
10^3	кило	k/к	10^{-6}	микро	μ/мк
10^2	гекто	h/г	10^{-9}	нано	n/н
10^1	дека	da/да	10^{-12}	пико	p/п

¹ В числителе — международное обозначение, в знаменателе — русское.

Относительная биологическая эффективность (ОБЭ)

- **Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) излучений разных типов** — это коэффициент, который характеризует относительную эффективность действия радиации с разными значениями ЛПЭ относительно определенного биологического эффекта. Если дозу взятых за стандарт лучей, необходимую для индукции определенного эффекта данной интенсивности проявления, обозначить D_{st} , а дозу лучей другого типа, нужную для индукции такого же эффекта такой же интенсивности проявления, — D_r , то $ОБЭ = D_{st} / D_r$.
- **Коэффициент качества (КК)** ионизирующего излучения показывает, на какое число следует умножить значение поглощенной дозы, чтобы учесть эффективность действия разных типов излучений.
- Понятия КК и ОБЭ тождественны.
- **Радиационный весовой фактор** учитывает биологическую эффективность ионизирующих излучений разных типов.

Инструментальные методы дозиметрии и применяемые приборы

Основные методы дозиметрии ионизирующих излучений

Физические	Химические	Биологические
Ионизационный	Фотографический	Выживаемость живых объектов
Сцинтилляционный	Использование химических систем	Изменение химизма тканей
Использование полупроводников		Изменение морфологии тканей
Калориметрический		

Физические методы

- **Ионизационная камера** — это прибор для регистрации и спектрометрии ионизирующих излучений, действие которого основывается на способности частиц, которые двигаются с большой скоростью, вызывать ионизацию газа.
- **Сцинтилляционный метод** — высокочувствительный относительно регистрации электромагнитного и корпускулярного ионизирующих излучений, основывается на применении сцинтилляторов — органических или неорганических веществ в форме растворов или кристаллов.
- **Полупроводниковые дозиметры** — это приборы, в которых в качестве детектора излучений используют полупроводник, электропроводность которого изменяется под воздействием облучения ионизирующей радиацией. Некоторые полупроводники реагируют лишь на нейтронное излучение, и потому их используют в дозиметрии нейтронов.

Химические методы

- **Авторадиографический метод** заключается в получении фотографических изображений действием ионизирующего излучения от объектов, которые содержат радиоактивные вещества, на фоточувствительные материалы. Этот метод делает возможным определение радиоактивности, а главное, ее локализации в пределах клетки или организма. В соответствии со степенью пространственного различия выделяют *микро- и макроавторадиографию*.
- **Химические дозиметры.** Действие ионизирующего излучения на химические соединения сопровождается превращениями последних, а количество молекул, которые испытали изменения, зависит от дозы. Потому разные химические вещества используют в дозиметрических измерениях. Чаще всего применяют химический дозиметр Фрике, в котором используется сульфат двухвалентного железа, который окисляется во время облучения. Степень окисления определяется спектрофотометрично по изменению расцветки раствора.

Биологические методы

- Некоторые биологические объекты очень чувствительны к действию ионизирующих излучений, и при этом их реакция проявляется достаточно однообразно при многократных повторениях облучения. Такие объекты и их реакции на облучение, которые характеризуются воспроизводимостью, используют в качестве биологических дозиметров (например, выход хромосомных aberrаций некоторых типов или микроядер в лимфоцитах или в меристемных клетках апекса корня побегов растений).

Основные этапы и единицы радиометрии и дозиметрии

Дозиметрическая характеристика

Поглощенной энергии

Источники излучения

Потока излучения



Радиоактивное вещество

Активность
распад/сек
к (мк, мкк)

Ускоритель заряженных частиц

Сила тока
(а, ма)

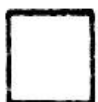
Плотность потока
(число частиц / сек · м²)

Интенсивность
излучения (ватт/м²)

Доза в воздухе



рентген



кулон/кг

Мощность дозы
рентген/сек
ампер/кг

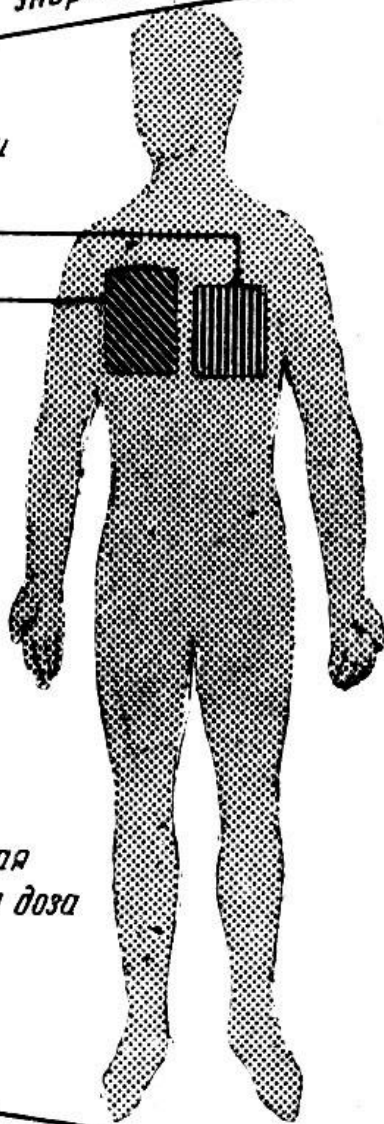
Доза в ткани
рад

джоуль/кг

Мощность поглощенной дозы
рад/сек

ватт/кг

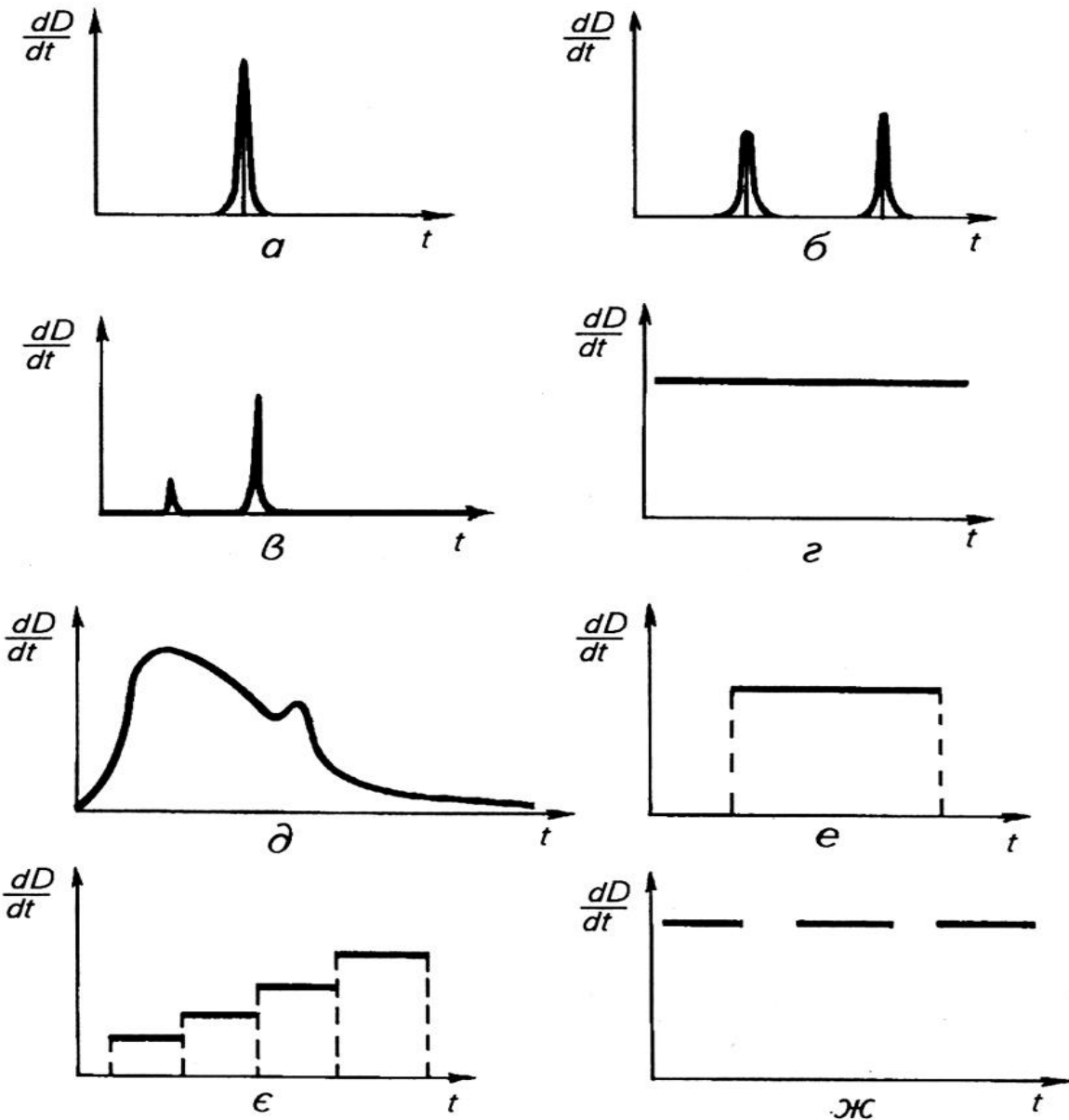
Интегральная
поглощенная доза
в организме
грамм/рад



Способы передачи дозы облучаемым объектам

- ***Способы передачи дозы облучаемым объектам*** – это временные характеристики облучения, которые определяют особенности процессов, развивающихся в результате облучения.

Часові характеристики опроміненнь



а — гострого; б — гострого фракціонованого; в — нееквівалентного фракціонованого; г — хронічного з постійною потужністю дози; д — пролонгованого зі змінною потужністю дози; е — пролонгованого з постійною потужністю дози; є — пролонгованого зі ступінчастим зростанням потужності дози; ж — переривчастого

При облучении организма различают:

острое — кратковременное облучение при высокой мощности дозы;

пролонгированное — длительное облучение при низкой мощности дозы (доли грея в час и ниже); бывает **непрерывным** и **фракционированным**; **однократное** и **многократное** (фракционированное облучение).

Доза пролонгированного облучения D_{prol} , связана с мощностью дозы P таким соотношением: $D_{\text{prol}} = P \cdot t$.
В случае фракционированного пролонгированного облучения $D_{\text{prol}} = \sum P_i t_i$, где P_i , t_i , — соответственно мощность дозы и длительность облучения.

Классификация мощностей доз облучения

- **сверхвысокие** (порядка $10^{13} \dots 10^{11}$ Гр/мин), когда доза передается организму за доли секунды (эффект мощности дозы зависит от содержащегося кислорода в среде);
- **высокие** (порядка $10^6 \dots 10^2$ Гр/мин), когда доза передается за несколько минут, то есть острое облучение (эффект мощности дозы не выявляется);
- **низкие** (порядка $10^2 \dots 10^{-1}$ Гр/мин), когда доза передается на протяжении многих часов или дней, то есть пролонгированное облучение (эффект мощности дозы выявляется максимально);
- **очень низкие** (порядка до 10^{-1} Гр/мин), когда передача дозы длится недели, месяцы и даже годы, то есть хроническое облучение (эффект мощности дозы не выявляется).

Дозы внутреннего облучения

- Если в вещественном составе среды есть радиоактивные изотопы, то во время распада атомов последних среда испытывает облучение, которое называют **внутренним**. Соответственно дозу от внутреннего облучения называют **дозой внутреннего облучения**.
- В случае неравномерного распределения радиоактивного вещества в среде значения локальных доз внутреннего облучения соответственно варьирует, отображая гетерогенность концентрации радиоактивности. Изменение биологической эффективности облучения, predetermined неравномерным распределением по тканям организма поглощенных радионуклидов, характеризуется **фактором деления дозы**.