

# 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 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 с<sup>-1</sup>;
- **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 Вт;

# Основные радиометрические параметры

- **перенос (флюенс) ионизирующих частиц  $\Phi_r$**  — 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  $\Phi$**  — 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  $\varphi_r$**  — отношение потока  $dJ_P$  ионизирующих частиц, проникающих в элементарную сферу, к площади  $dS$  центрального сечения этой сферы:  $\varphi_r = dJ_P / dS$ ,  $[\varphi_r] = 1 \text{ с}^{-1} \times 1 \text{ м}^{-2}$ ;
- **плотность потока ионизирующего излучения  $\varphi_r$**  — отношение потока  $J_r$  ионизирующего излучения проникающего в элементарную сферу, к площади  $dS$  центрального сечения этой сферы:  $\varphi_r = dJ_r / dS$ ,  $[\varphi_r] = 1 \text{ Вт/м}^2$ .

# 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 Ки = = 3,7 · 10 <sup>10</sup> Бк	1 Бк = = 2,7 × × 10 <sup>-11</sup> Ки
Экспозиционная доза излучения	рентген (R, P)	кулон на килограмм C/kg, Кл/кг)	1 P = = 2,58 × × 10 <sup>-4</sup> Кл/кг	1 Кл/кг = = 3876 P
Мощность экспозиционной дозы излучения	рентген в секунду (R/s, P/c)	ампер на килограмм (A/kg, A/кг)	1 P/c = = 2,58 × × 10 <sup>-4</sup> A/кг	1 A/кг = = 3876 P/c
Поглощенная доза излучения	рад (rad, рад)	грей (Gy, Гр)	1 рад = = 0,01 Гр	1 Гр = = 100 рад
Мощность поглощенной дозы излучения	рад в секунду (rad/s, рад/с)	грей в секунду (Gy/s, Гр/с)	1 рад/с = = 0,01 Гр/с	1 Гр/с = = 100 рад/с
Интегральная доза излучения	рад·грамм (rad·g, рад·г)	джоуль (J, Дж)	1 рад·г = = 10 <sup>-5</sup> Дж	1 Дж = = 10 <sup>5</sup> рад·г
Эквивалентная доза излучения	бэр (rem, бэр)	зиверт (Sv, Зв)	1 бэр = 0,01 Зв	1 Зв = = 100 бэр
Мощность эквивалентной дозы излучения	бэр в секунду (rem/s, бэр/с)	зиверт в секунду (Sv/s, Зв/с)	1 бэр/с = = 0,01 Зв/с	1 Зв/с = = 100 бэр/с

**Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц**

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

<sup>1</sup> 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.

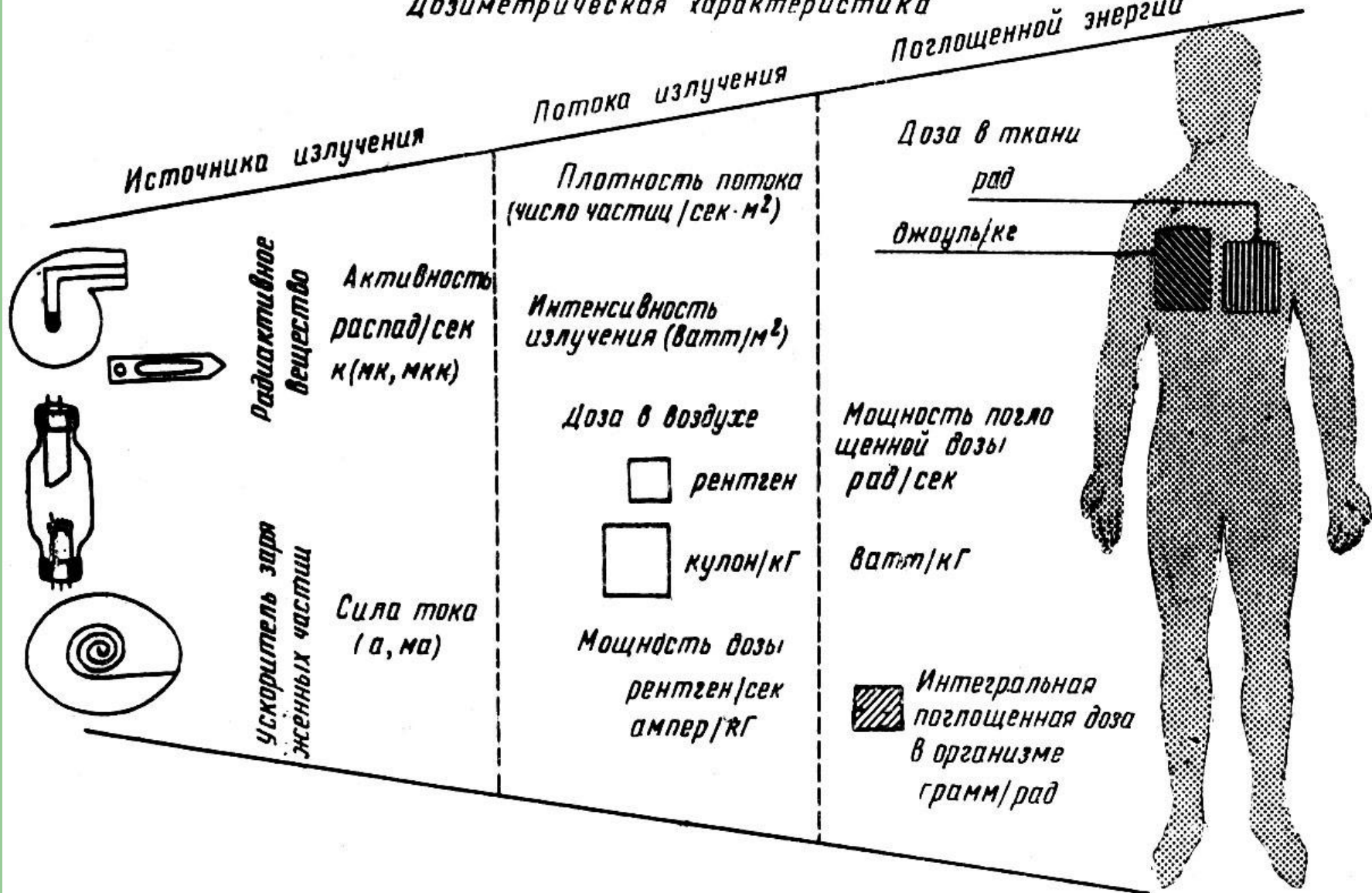


# Биологические методы

- 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

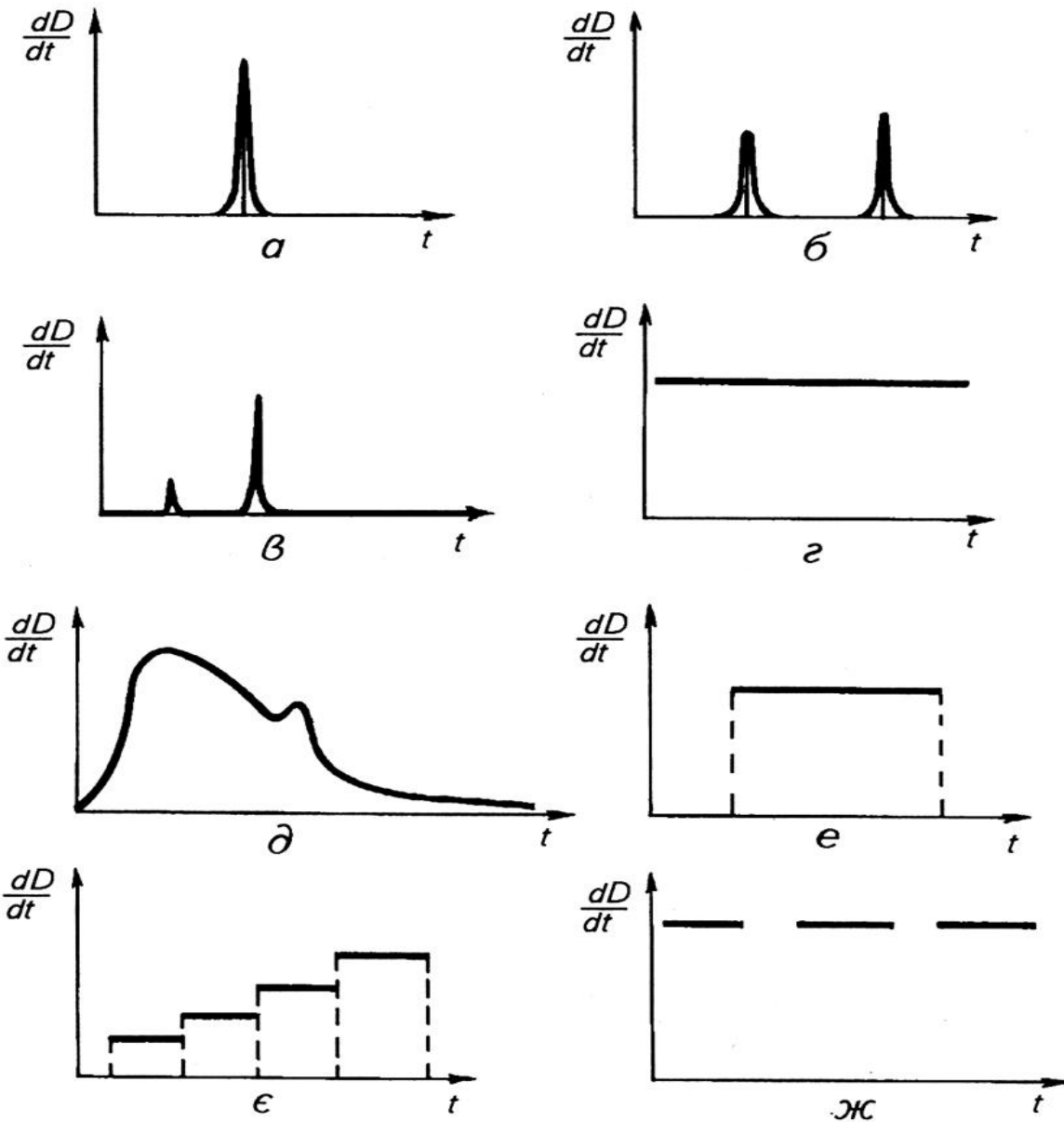
Дозиметрическая характеристика



# 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; ж — пролонгованого зі ступінчастим зростанням потужності дози; з — 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:  $D_{prol} = Pt$ .

В случае фракционированного пролонгированного облучения  $D_{prol} = \sum P_i t_i$ , 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**.