

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Первый Московский Государственный медицинский университет имени
И.М. Сеченова

Кафедра медицинской радиобиологии

Презентация на тему:
«Начальные этапы развития лучевого поражения»

Исполнители
Студенты 5-го курса
Медико-Профилактического
факультета МБХ
Исаков Игорь
Гулимов Михаил

Содержание

- *Строение и основные характеристики атома*
- *Основные свойства и характеристики ионизирующего излучения*
- *Дозы ионизирующих излучений и единицы их измерения*
- *Первичные (физическая, физико-химическая и химическая стадия в действии ионизирующих излучений)*



Строение и основные характеристики атома

Атомы состоят из еще более мелких частиц, чем они сами, называемых **электронами**. Электроны вращаются вокруг центрального ядра, состоящего из одного или более **протонов** и **нейтронов**, по концентрическим орбитам. Электроны являются отрицательно заряженными частицами, протоны — положительными, а нейтроны — нейтральными (рис. 1.1.). Каждая орбита называется **оболочкой**. Эти оболочки последовательно от ядра заполняются электронами (рис. 1.2).

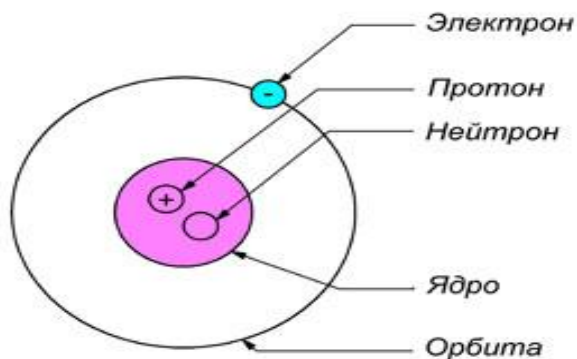


Рисунок 1.1. Строение атома.

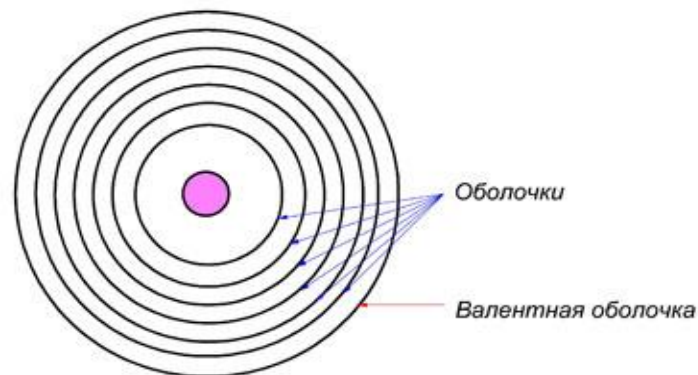
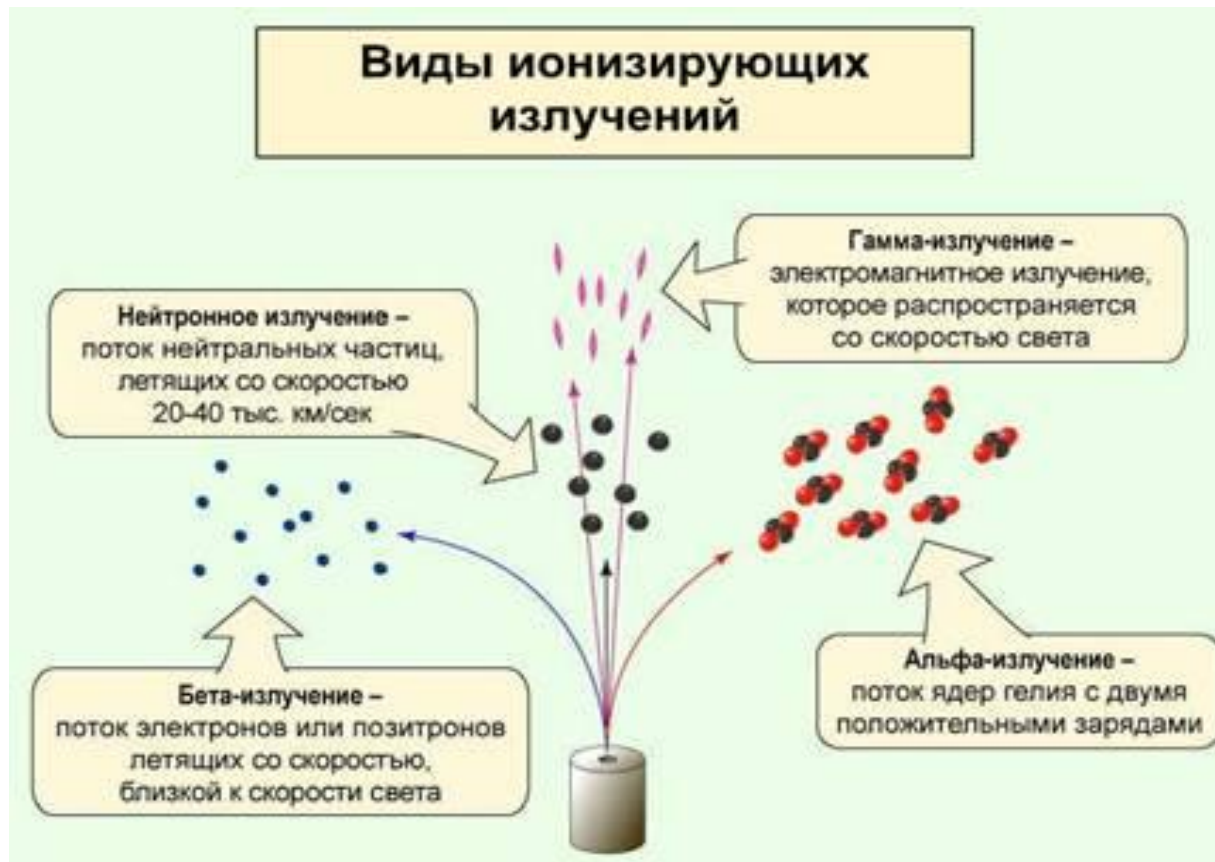


Рисунок 1.2. Оболочки атома.

Атом, который имеет одинаковое число электронов и протонов, электрически нейтрален. Атом, получающий один или более электронов, становится отрицательно заряженным и имеет название отрицательный ион. Если атом теряет один или более электронов, то он становится положительным ионом, то есть заряжается положительно.

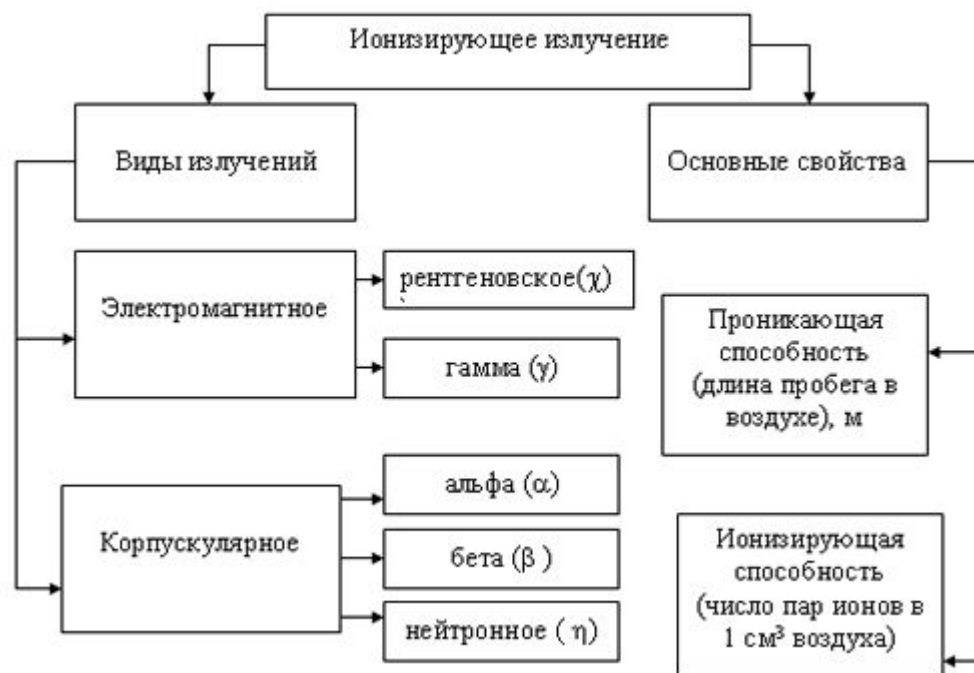
Основные свойства и характеристики ионизирующего излучения

Ионизирующие излучения – это излучения, вызывающие при взаимодействии с веществом ионизацию и возбуждение его атомов и молекул. Важной особенностью большинства видов ионизирующих излучений является их высокая проникающая способность, а отсюда способность взаимодействовать с атомами вещества в глубине объекта.

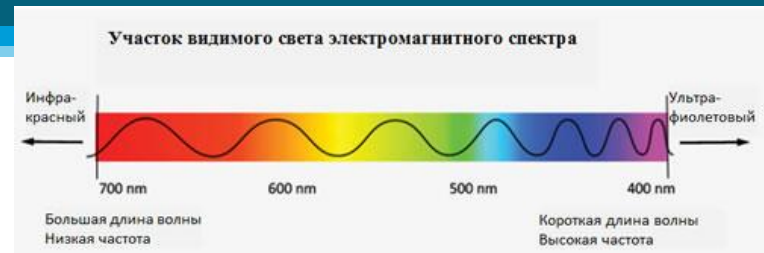


Основные свойства и характеристики ионизирующего излучения

По своей физической природе все ионизирующие излучения подразделяются на **электромагнитные** и **корпускулярные** излучения.



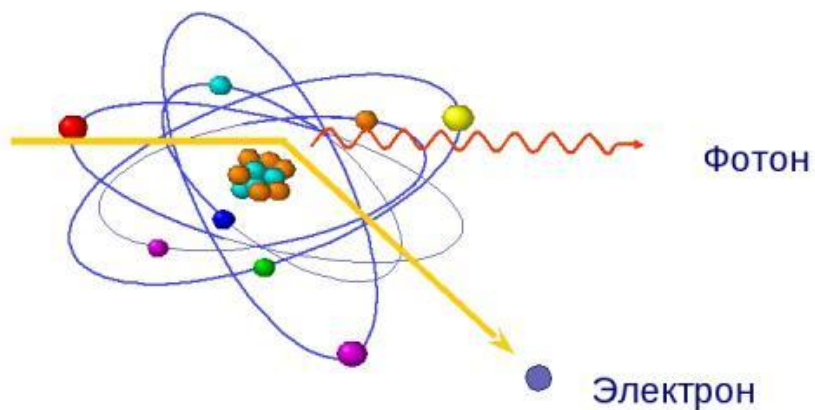
Основные свойства и характеристики ионизирующего излучения



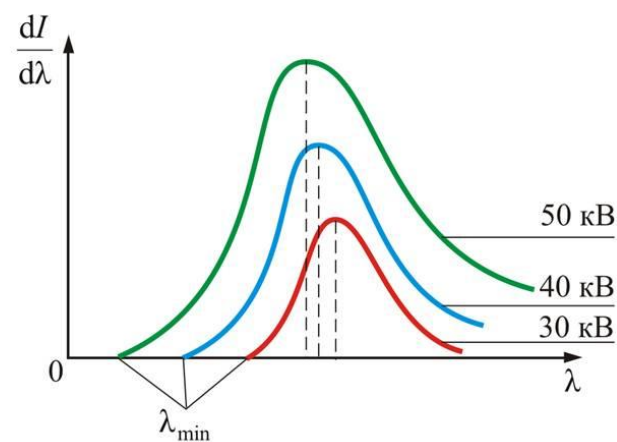
Общие со свойствами видимого света	Отличные от свойств видимого света
<ul style="list-style-type: none">□ Распространяются прямолинейно;□ Не отклоняются в магнитном и электрическом полях;□ Интенсивность, обратно пропорциональна квадрату расстояния до их источника	<ul style="list-style-type: none">· Невидимы невооружённым глазом;· Проникают сквозь непрозрачные для видимого света материалы;· Частично задерживаются различными материалами в прямой зависимости от плотности этих материалов;· Не фокусируются линзами;· Ионизируют газы, изменяют цвет стекла, минералов, засвечивают фотопластинки, завёрнутые в светонепроницаемую бумагу.

Тормозное излучение — электромагнитное излучение, испускаемое заряженной частицей при её рассеянии (торможении) в электрическом поле.

Тормозное излучение

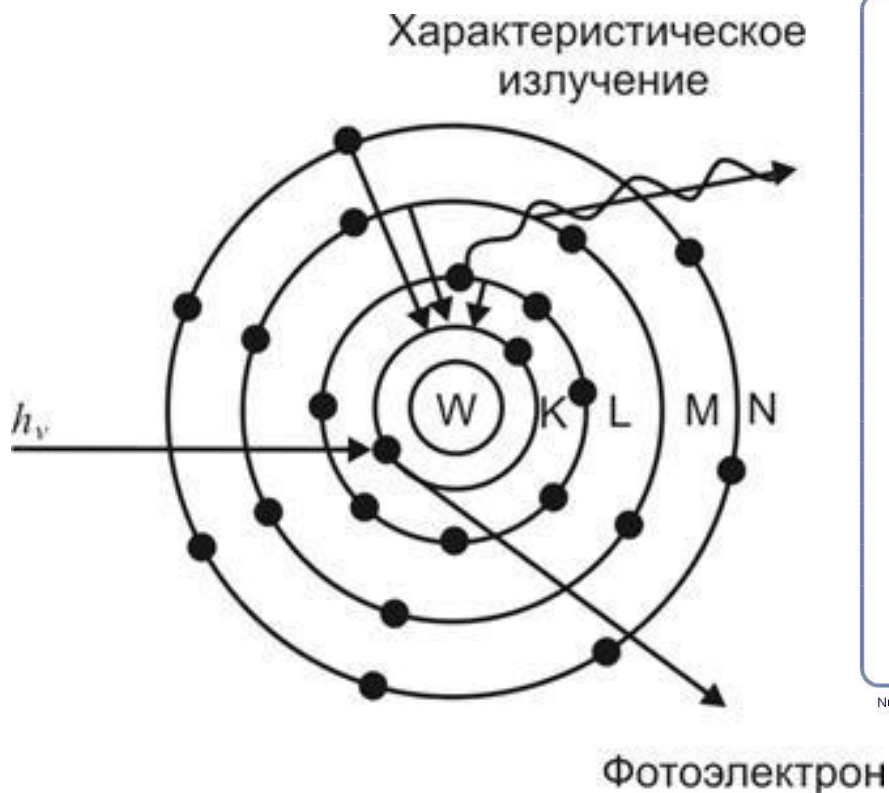


Тормозное рентгеновское излучение

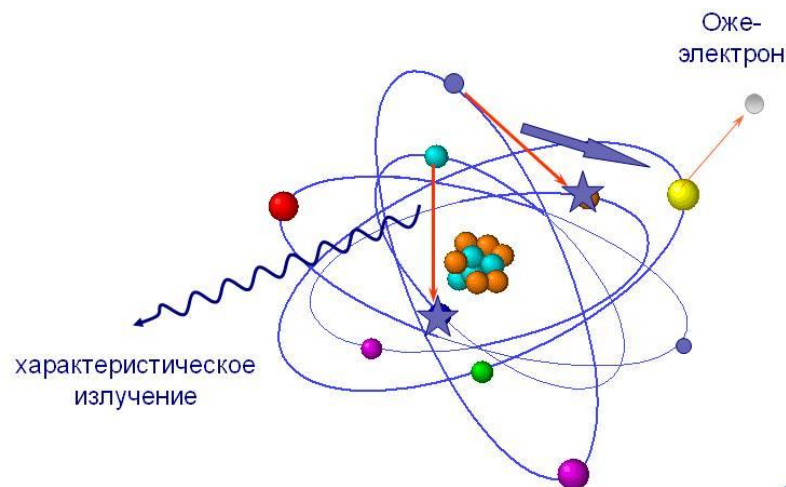


Характеристическое рентгеновское излучение - энергия

бомбардирующих анод электронов становится достаточной для вырывания электронов из внутренних оболочек атома, на фоне тормозного излучения появляются резкие линии *характеристического* излучения. Частоты этих линий зависят от природы вещества анода, поэтому их и назвали характеристическими.

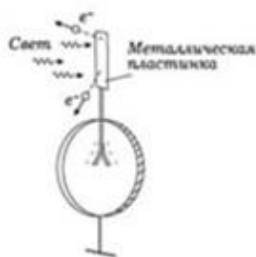


СНЯТИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ



Фотоэффект - явление вырывания электронов из твердых и жидких веществ под действием света

Фотоэффект



- вырывание электронов из вещества под действием света

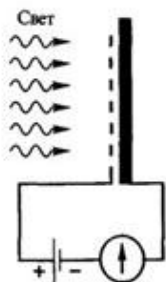
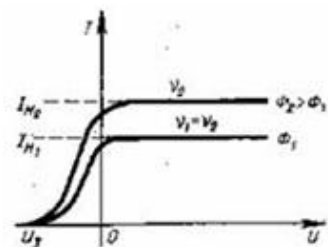
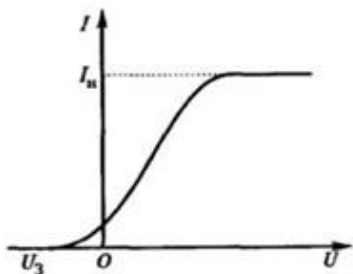
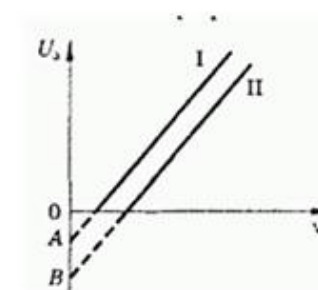
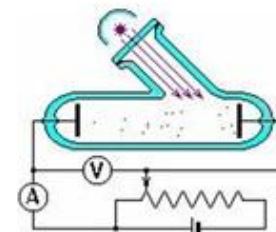
$$h\nu = A_{\text{вых}} + E_k$$

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

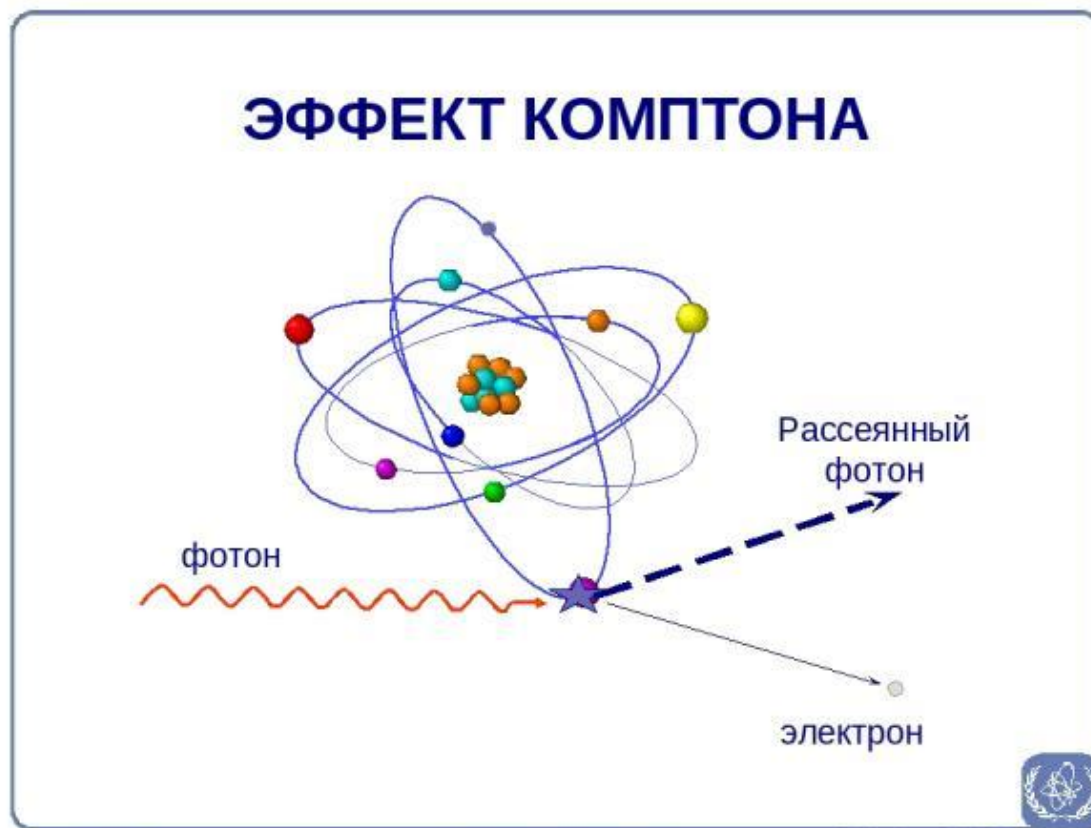
$$E_k = \left(\frac{mv^2}{2} \right)_{\text{min}} = eU_3$$

$$A_{\text{вых}} = h\nu_{\text{min}}$$

$$\nu_{\text{min}} = \frac{A_{\text{вых}}}{h} \text{ - красная граница}$$



Эффект Комптона – явление изменения длины волны электромагнитного излучения вследствие рассеивания его свободными или слабосвязанными электронами



При *комптоновском эффекте* квант ЭМИ, сталкиваясь с электроном передает ему не всю свою энергию, а только часть её и после соударения изменяет своё направление движения. Комптоновский эффект происходит только на электронах внешних электронных оболочек атома (для которых $E_{\text{связи}} \ll h\nu$).

Образовавшийся свободный электрон (т.н. электрон отдачи, или электрон рассеяния, или комптоновский электрон) имеет значительную кинетическую энергию

$$E_{\text{связи}} = h\nu - h\nu' - E \quad \approx h\nu - h\nu'$$

Линейная передача энергии (ЛПЭ)

ЛПЭ определяется как отношение средней энергии dE , переданной заряженной частицей веществу вследствие столкновений на пути dl , к длине этого пути:

$$\text{ЛПЭ} = dE / dl.$$

Обычно измеряют в кэВ на мкм пути.

Линейная плотность ионизации (ЛПИ) – определяется как число пар ионов, образовавшихся в веществе при прохождении через него заряженной частицы на мкм пути.

$$\text{ЛПИ} = \text{ЛПЭ} / 34,$$

где 34 эВ – средняя энергия необходимая для образования одной пары ионов.

Граница между редкоионизирующими и плотноионизирующими излучениями

Все ионизирующие излучения подразделяют на:

редкоионизирующие излучения (ЛПЭ < 10 кЭВ/мкм в воде) – электроны, гамма- и рентгеновы лучи.

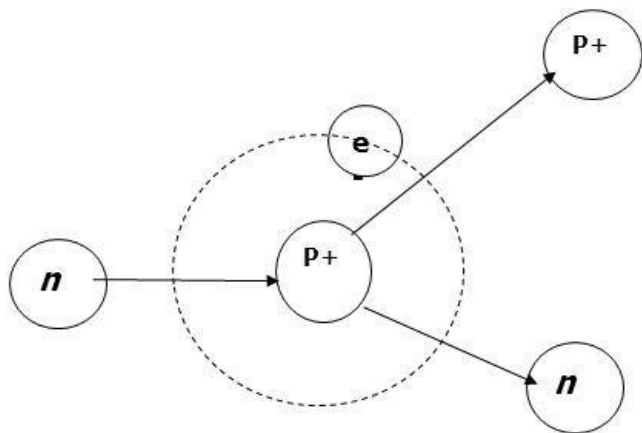
плотноионизирующие излучения (ЛПЭ > 10 кЭВ/мкм в воде) – протоны, альфа-частицы и другие тяжелые частицы, а также нейтроны.

10 кЭВ/мкм – это примерно 300 пар ионов/мкм

Нейтроны

Взаимодействие нейтронов с веществом:

- 1) **Упругое рассеяние (для быстрых нейтронов)** – в результате соударения нейтрона с ядром атома кинетическая энергия нейтрона распределяется между ним и «ядром отдачи». Чем меньше масса ядра, тем больше энергии оно получит (водород).
- 2) **Неупругое рассеяние (при энергии больше нескольких кэВ)**
- 3) **Радиационный (нейтронный) захват (для медленных нейтронов, $<10\text{МэВ}$)**



В биологических тканях, богатых водородом, появляются «протоны отдачи», обладающие значительной кинетической энергией и зарядом, могут взаимодействовать с электронными оболочками атомов и вызывать ионизацию

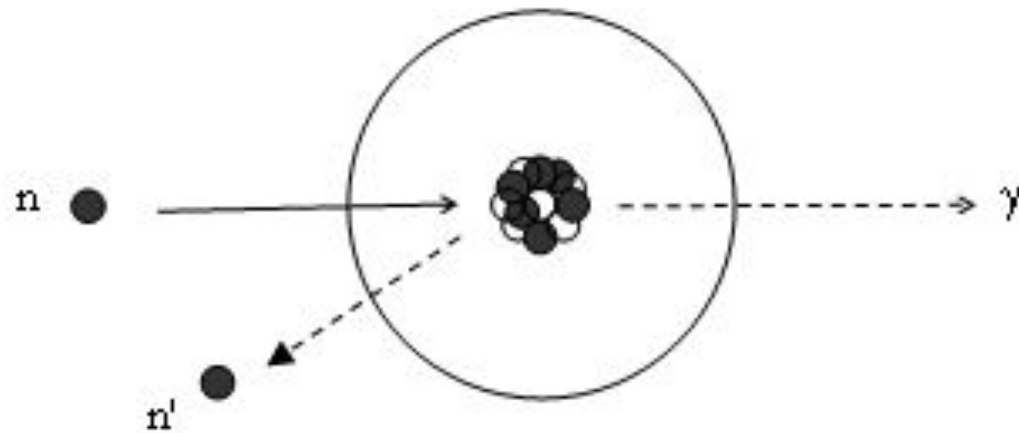


Схема неупругого рассеяния нейтронного излучения

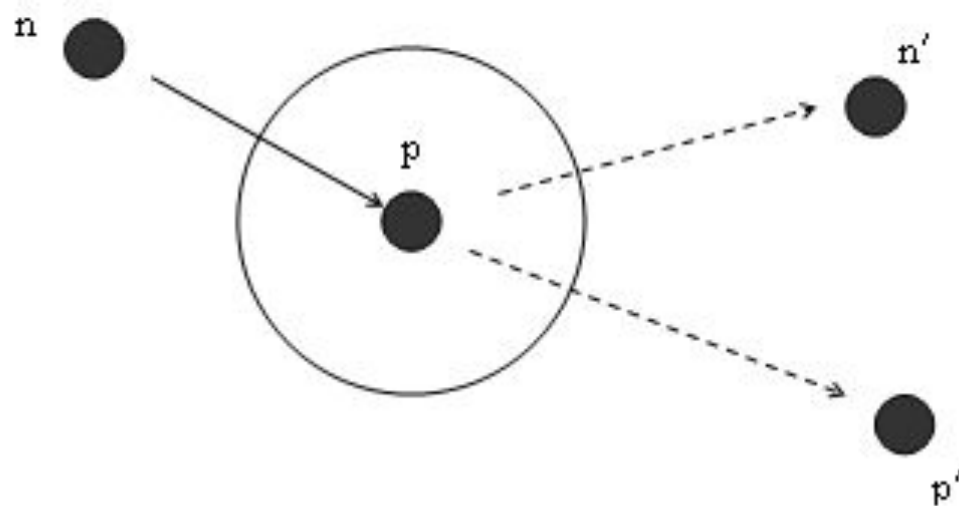


Схема упругого рассеяния нейтрона на ядре атома водорода

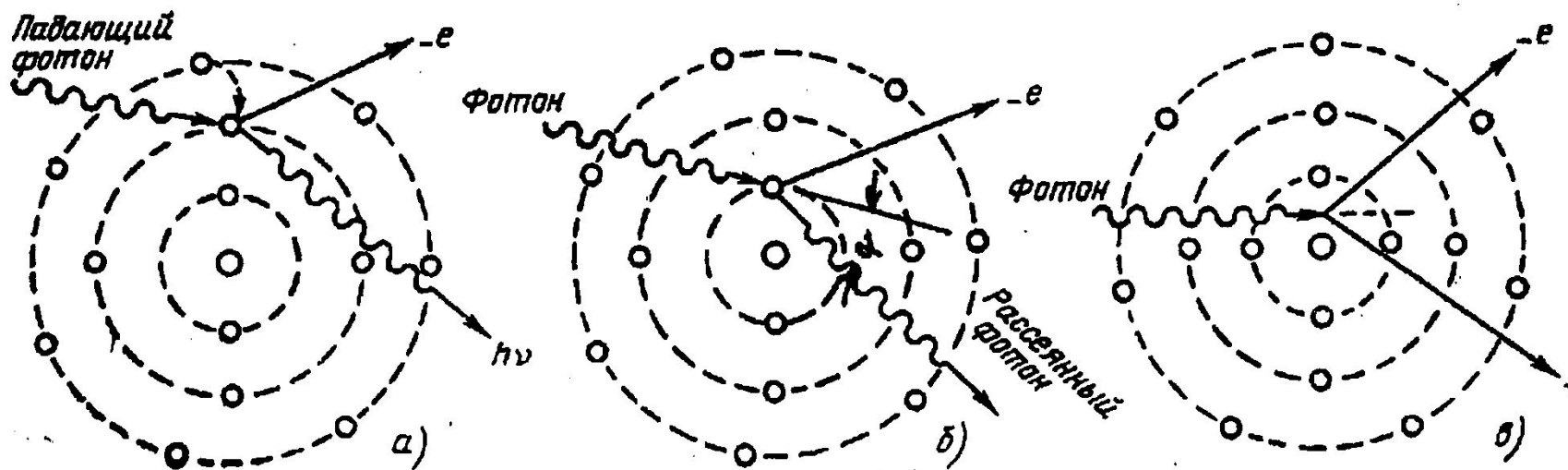
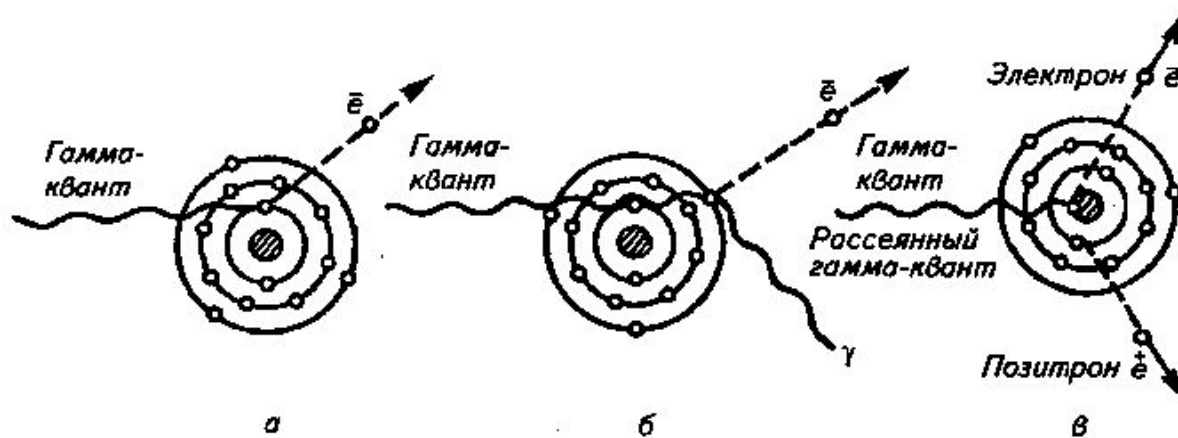


Рис. 1 Схема взаимодействия гамма-излучения с веществом:
 а — фотоэффект; б — комптон-эффект; в — эффект образования пар; $-e$ — электрон; $+e$ — позитрон;
 $h\nu$ — рентгеновское излучение

Экспозиционная доза



Экспозиционная доза (X) – мера количества ИИ, физическим смыслом которой является суммарный заряд ионов одного знака, образующихся при облучении воздуха в его единичной массе:

$$X = dQ/dm ,$$

где **dQ** – суммарный заряд всех ионов одного знака, возникающих в воздухе при полном торможении всех вторичных электронов, образовавшихся в малом объёме пространства, **dm** – масса воздуха в этом объёме.

- В системе СИ единицей экспозиционной дозы является кулон, делённый на килограмм (Кл/кг).
- Внесистемная единица экспозиционной дозы – рентген (Р), соответствующая образованию $2,1 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 сухого воздуха при нормальных условиях.
- $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$; $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Поглощённая доза



Поглощённая доза (D) – количество энергии, передаваемой излучением единичной массе вещества:

$$D = dE/dm ,$$

где **dE** – энергия излучения, поглощённая малой массой вещества **dm**.

- В системе СИ поглощённую дозу выражают в греях (Гр).
1Гр = 1Дж/кг.
- Внесистемная единица поглощённой дозы – рад (аббревиатура «radiation absorbed dose»). Рад равен сантигрею (1рад = 10⁻²Гр).
- В воздухе **1 рентген** соответствует 0,89 рад, а в тканях организма в среднем **0,95 рад**.

Эквивалентная доза

Эквивалентная доза (Н) позволяет учесть различия биологической активности ИИ:

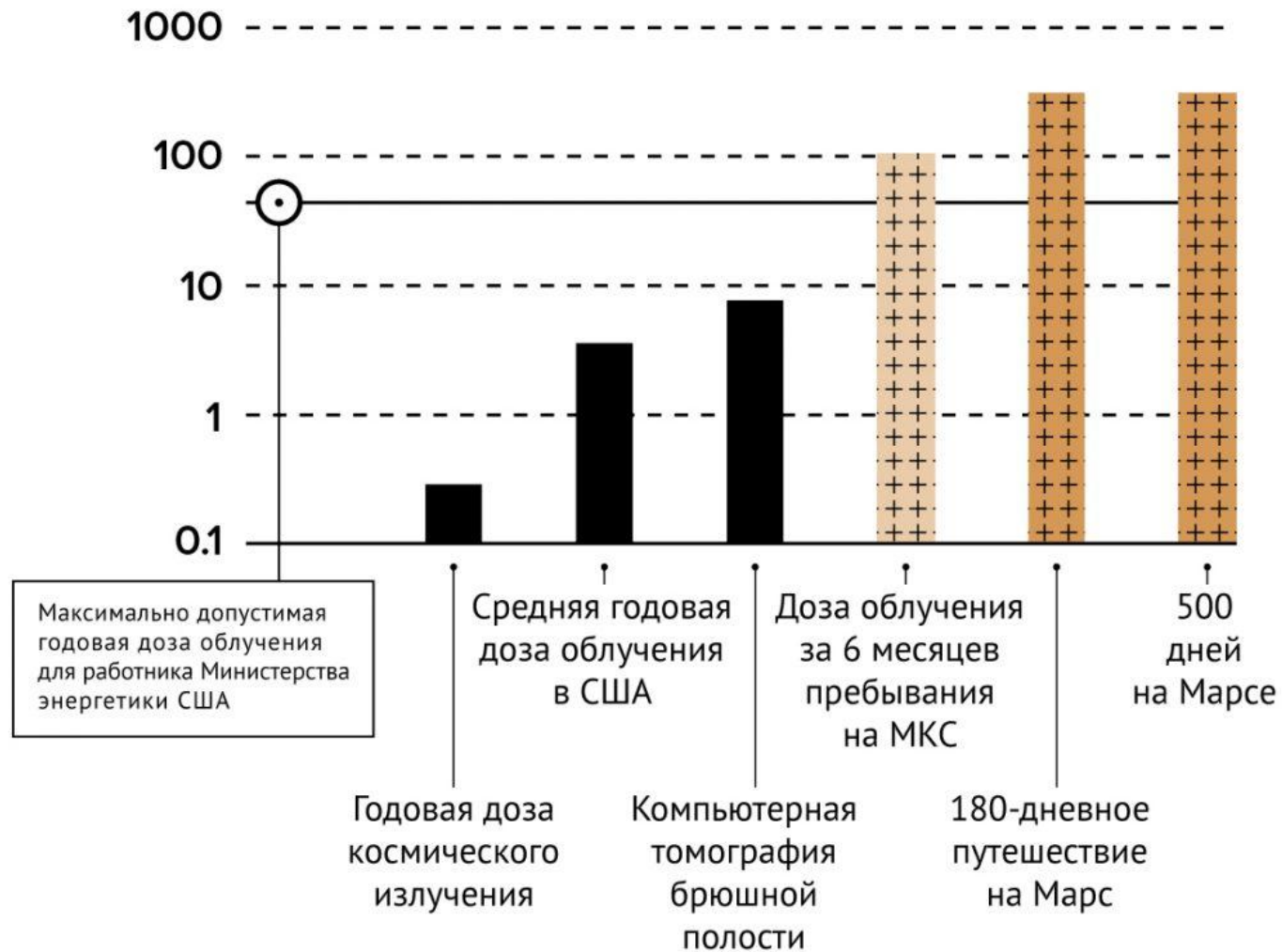
$$H = D \cdot \text{ОБЭ} ,$$

где **D** – поглощённая доза ИИ в данной точке биообъекта.

В системе СИ единицей эквивалентной дозы служит зиверт (Зв)

Внесистемной единицей является бэр (аббревиатура «биологический эквивалент рада»). $1\text{Зв} = 100\text{бэр}$.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (В МИЛЛИЗИВЕРТАХ)



Дозиметрическая величина	Единица, её наименование, обозначение		Соотношение единиц
	Внесистемная	СИ	
Экспозиционная доза	Рентген (Р)	Кулон на кг (Кл/кг)	1 Кл/кг = 3876 Р
Мощность экспозиционной дозы	Рентген в час (Р/час)	Ампер на кг (А/кг)	1 А/кг = 1,4 · 10 ⁷ Р/час
Поглощённая доза	Рад (рад)	Грей (Гр)	1 Гр = 100 рад
Мощность поглощённой дозы	Рад в час (рад/час)	Грей в секунду (Гр/с)	1 Гр/с = 3,6 · 10 ⁵ рад/час
Эквивалентная доза	Бэр (бэр)	Зиверт (Зв)	1 Зв = 100 бэр
Мощность эквивалентной дозы	Бэр в год (бэр/год); зиверт в год (Зв/год)	Зиверт в секунду (Зв/с)	1 Зв/с = 3,15 · 10 ⁹ бэр/год

Мощность дозы излучения - показатель

характеризует *интенсивность* лучевого воздействия.

Мощность дозы - доза (экспозиционная, поглощённая или эквивалентная), регистрируемая за единицу времени.

В системе СИ *мощность экспозиционной дозы* выражают в Кл/(кг·с), т.е. А/кг.

Внесистемная единица мощности дозы – Р/час и её производные (мР/час, мкР/час).

Единицами *мощности поглощенной дозы* служат Гр/с, рад/с и их производные.

Внесистемные единицы дозы – Зв/год и бэр/год.



Характеристика радиоактивных веществ

В основу измерения количеств радиоактивных веществ положено свойство **радиоактивности**, то есть способность к испусканию ионизирующих излучений. В системе СИ за единицу радиоактивности принят распад в секунду (расп./с или s^{-1}), или беккерель (Бк), а традиционной единицей является кюри.

$$1 \text{ расп./с} = 1 \text{ Бк} = 2,7 \times 10^{-11} \text{ Ки}$$

Активность, отнесенная к единице массы заряженного радионуклидами в-ва, называются **удельной активностью** в-ва, а к единице объема – **объемной активностью**. Активность, проходящая на единицу площади заряженной радионуклидами поверхности, называется **плотностью поверхностного заряжения** или **поверхностной активностью**.

Характеристика радиоактивных веществ

Важными единицами являются также постоянная распада и период распада радионуклида.

Активность источника A , содержащего один радиоактивный изотоп, пропорциональна числу атомов этого радионуклида в источнике N :

$$A = \lambda n$$

Коэффициент λ представляет собой постоянную распада, которая характеризует вероятность распада в единицу времени и показывает какая доля от общего числа атомов изотопа в источнике распадается каждая секунду.

Постоянная распада определяет и величину периода, полураспада, которая обозначается как $T_{1/2}$ или просто T :

Чем больше λ , тем быстрее распадается радионуклид. Каждый радиоактивный изотоп имеет свои постоянные значения λ и $T_{1/2}$. Период полураспада является одной из основных характеристик радиоактивности вещества, поскольку его величина строго постоянна и не зависит от условий внешней среды.

Постоянная радиоактивного распада

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}},$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада.

Основные источники ионизирующего излучения

К источникам ионизирующего излучения, относятся любые вещества или объекты, в том числе устройства, которые испускают или при определенных условиях способны испускать ионизирующее излучение.

Источники ионизирующего излучения классифицируются по происхождению как природные и техногенные.

К природным (естественным) источникам ионизирующего излучения относятся:

- космическое излучение;
- излучение от рассеянных в земной коре, воздухе и других объектах внешней среды природных радионуклидов.

Источниками техногенной (искусственной) радиации являются атомные электростанции, военная и мирная техника, использующая ядерные реакторы, места добычи полезных ископаемых с нестабильными атомными ядрами, зоны ядерных испытаний, диагностическая и лечебная техника, а также радиоактивные изотопы в медицине.

Основные источники ионизирующего излучения



Основные пути проникновения радионуклидов в организм

Основные пути поступления радиоактивных изотопов в организм:

1) Ингаляционный путь — при вдыхании загрязненного радиоактивными аэрозолями воздуха. Радиоактивные вещества задерживаются на всем протяжении дыхательного тракта от преддверия носа до глубоких, альвеолярных отделов легких.

2) алиментарный — через желудочно-кишечный тракт с водой и пищей.

3) через кожу — проницаемость кожи для радиоактивных веществ зависит от:

1. агрегатного состояния радионуклидов, склонности их к гидролизу и комплексообразованию — водорастворимые и жирорастворимые соединения радионуклидов всасываются через кожу быстро, скорость их проникновения сравнима со скоростью всасывания в кишечнике (наибольшая скорость проникновения у йода-131, также активно проникают в кожу изотопы молибдена, трития и элементов I и VI групп).

2. кислотности раствора, в котором находятся радиоактивные вещества

3. состояния кожного барьера и длительности контакта с ним радионуклидов — при повреждении кожи ее проницаемость для радионуклидов увеличивается. Для уменьшения контакта радионуклидов с кожей необходима своевременная дезактивация кожных покровов (например, обильная обработка кожных покровов водой и моющими средствами).



Способы защиты от радиации.

Чтобы противостоять ИИ, при изготовлении средств защиты используются различные материалы.

- **Альфа-излучение** характеризуется низкой проникающей способностью и воздействует на организм только в непосредственной близости от источника излучения. Поэтому даже лист бумаги, резиновые перчатки, пластиковые очки и простой респиратор будут для него непреодолимым препятствием.
- **Бета-излучение** обладает большей, чем альфа-излучение проникающей способностью, которая зависит от энергии его частиц. А это значит, что средства, предназначенные для защиты от альфа-излучения, при потоке бета-частиц не эффективны. Поэтому используются плексиглас, стекло, тонкий слой алюминия, противогаз.
- **Гамма-излучение** распространяется на большие расстояния и проникает практически сквозь любую поверхность. Исключение составляют тяжёлые металлы типа вольфрама, свинца, стали, чугуна и пр., именно они и применяются для защиты.
- **Нейтронное излучение** – продукт ядерного распада с проникающей способностью, превосходящей гамма-излучение. Лучшей защитой от нейтронного излучения являются такие материалы, как вода, полиэтилен, другие полимеры. Нейтронное излучение обычно сопровождается гамма-излучением, поэтому зачастую в качестве защиты применяют многослойные экраны или растворы гидроксидов тяжелых металлов.

Физическая защита (экранирование)

Толщина слоя заданного материала, уменьшающая уровень радиации в два раза, называется **слоем половинного ослабления**. Соотношение уровня радиации до и после защиты называется коэффициентом защиты.

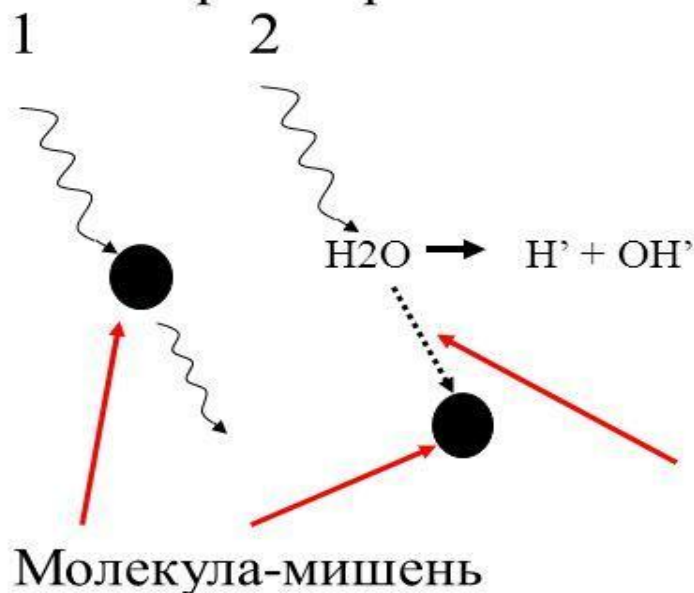
С увеличением толщины слоя противорадиационной защиты количество пропущенной радиации падает экспоненциально. Так, если слой половинного ослабления слежавшегося грунта составляет для гамма-излучения осколков деления 9,1 см, то насыпь толщиной 91 см (типичная насыпь над противорадиационным убежищем) уменьшит количество радиации в 2^{10} , или 1024 раза.

Показатель поглощения (стоящий в экспоненте), зависит от энергии.

Например, слой половинного ослабления для излучения цезия-137 в разы меньше, чем для излучения кобальта-60.

Прямое действие ионизирующих излучений - изменения, которые возникают в результате утери или приобретения электрона молекулами - «мишенями»

Непрямое (косвенное) действие ионизирующих излучений - изменения молекул- «мишеней», вызванные продуктами радиолиза окружающей их воды (или др. вещества, напр. лип.) и растворенных низкомолекулярных соединений



- 1 - схема прямого действия
- 2 - схема непрямого действия излучения

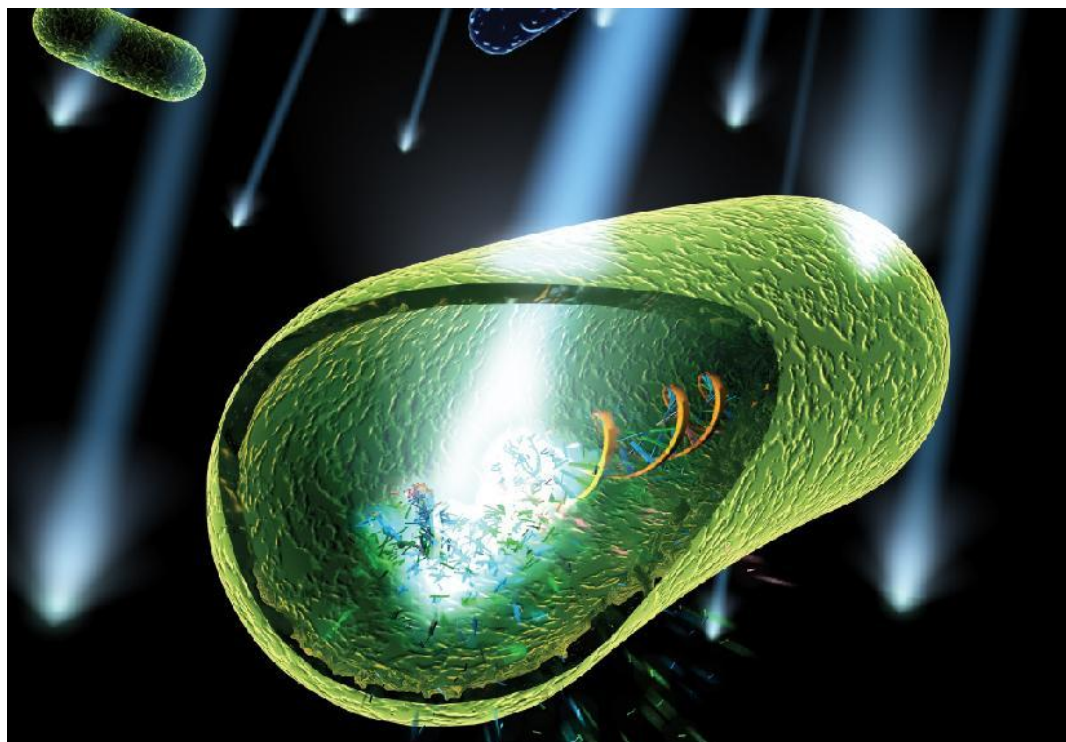
Диффузия свободных радикалов к мишеням

Радиобиологические эффекты



Основные стадии в действии излучений на биологические системы

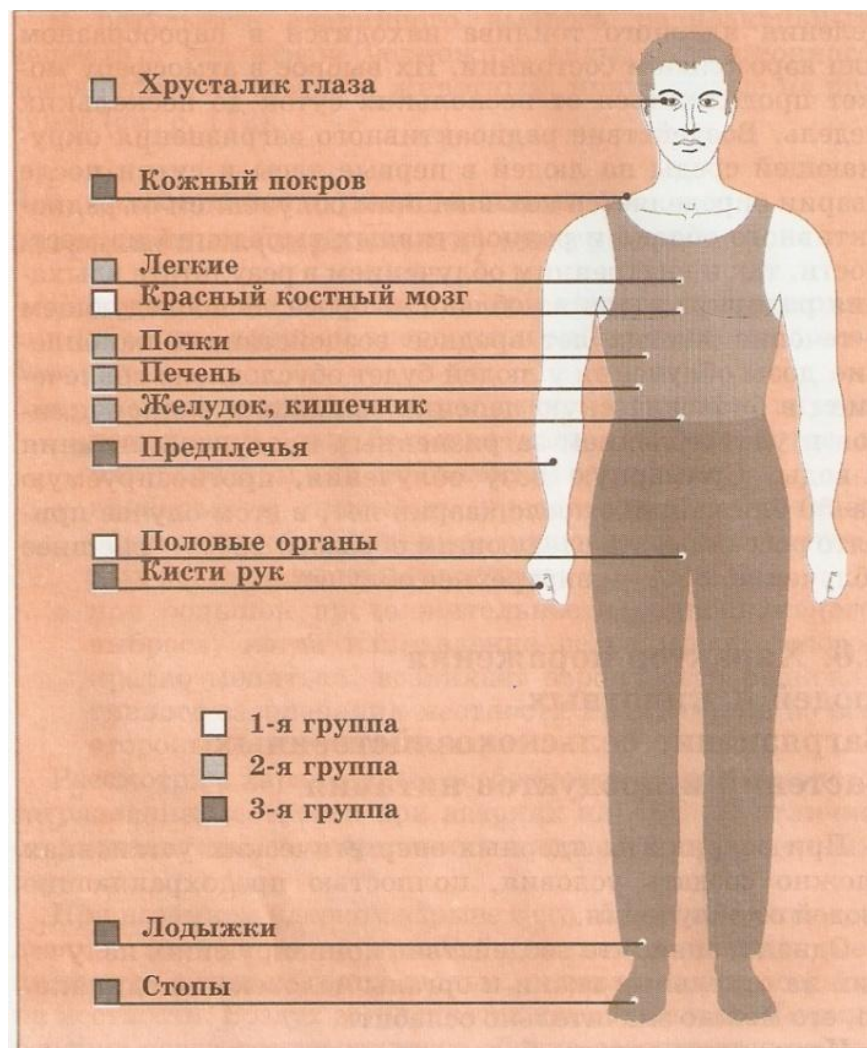
- Физическая
- Физико-химическая
- Химическая
- Биологическая



Стадия	Процессы	Продолжительность стадии
Физическая	Поглощение энергии излучения; образование ионизированных и возбужденных атомов и молекул	$10^{-16} - 10^{-15}$ с
Физико-химическая	Перераспределение энергии внутри молекул и между ними, образование свободных радикалов	$10^{-14} - 10^{-11}$ с
Химическая	Реакции между свободными радикалами, между радикалами и неактивированными молекулами. Образование широкого спектра молекул с измененными структурой и свойствами.	$10^{-6} - 10^{-3}$ с
Биологическая	Последовательное развитие поражения на всех уровнях биологической организации: от субклеточного до организменного.	Секунды – годы

Закон радиопоражаемости (Бергонье и Трибондо 1906 г.)

- Ткани тем более радиочувствительны, чем выше пролиферативная активность составляющих их клеток, и тем более радиорезистентны, чем выше степень их дифференцировки.



Кислородный эффект

- Под влиянием кислорода повышается поражение макромолекул и биологических систем при их облучении. Это происходит вследствие взаимодействия кислорода с радикалами биомолекул с последующим образованием новых перекисных радикалов, которые вызывают поражение тканей относящиеся к числу необратимых структурных изменений.

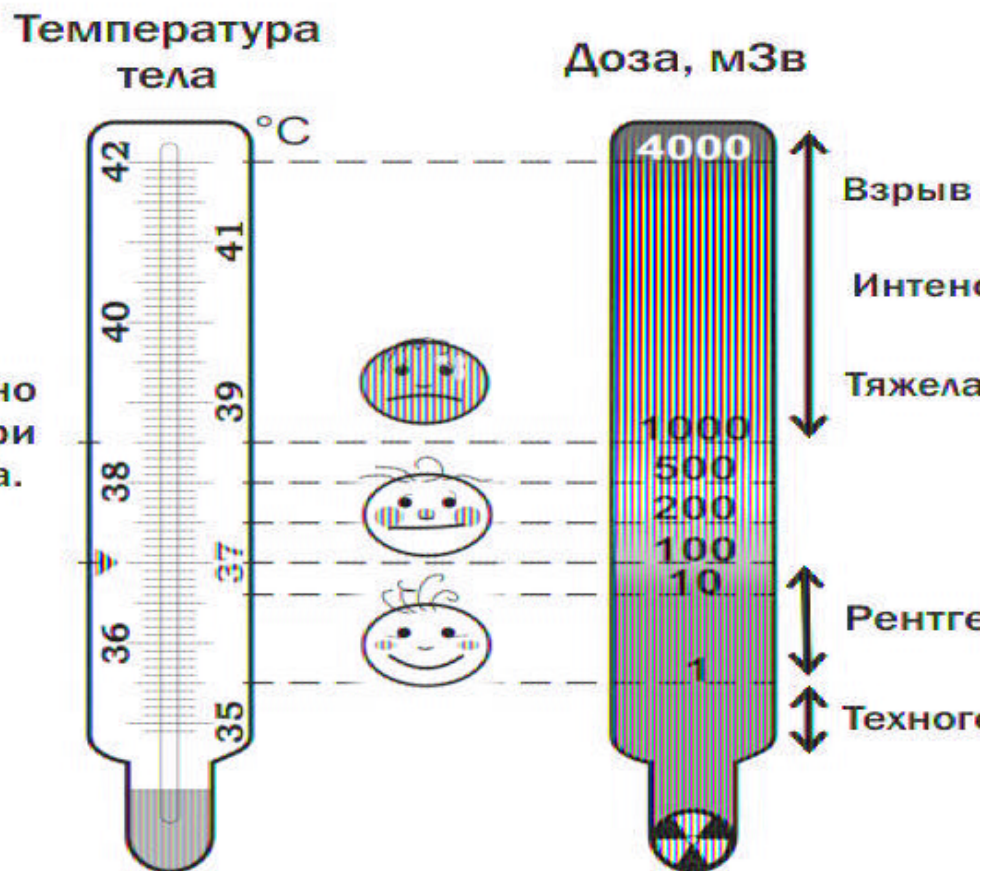


Репродуктивная форма гибели клеток

- Происходит разрушение генетического материала в результате прямого или непрямого действия радиации на уникальные структуры ядерной ДНК;
- Повреждения ядерной ДНК могут проявиться в качестве хромосомных aberrаций;
- При aberrациях пролиферирующая клетка длительно существовать не может, так как в митозе не происходит равномерного распределения генетического материала между дочерними клетками (летальные aberrации). Репродуктивная форма гибели характерна лишь для делящихся клеток.
- При этой форме гибели именно во время самого митоза наличие хромосомных aberrаций не дает возможности осуществить равномерное распределение генетического материала между дочерними клетками, в результате чего клетки погибают.

Реакция организма на разные

Реакцию организма на разные дозы облучения можно сравнить с самочувствием при повышении температуре тела.



Интерфазная гибель клеток

Исходным событием для **некроза** клеток - активация перекисного окисления липидов - повреждение внутриклеточных мембран - выход лизосомальных протеаз и нуклеаз в цитоплазму и проникновение их в ядро - деградация нуклеопротеидных комплексов в ядре - расплавление ядра, цитолиз с выходом содержимого клетки за пределы клеточной мембраны.

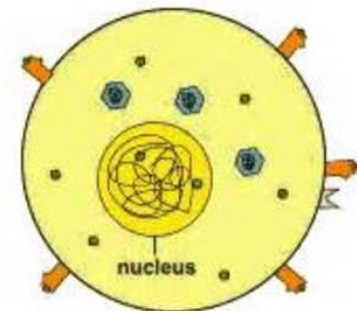
Апоптоз - межнуклеосомная деградация хроматина, фрагментация ядра.

Апоптоз - это генетически опосредуемая программированная форма клеточной гибели. Механизм апоптоза, особенно характерен для интерфазной гибели лимфоидных клеток, клеток кроветворной ткани.

В **интерфазной** гибели существенная роль принадлежит повреждениям иных структур - **внутриклеточных мембран**, ферментов, нарушению **клеточного метаболизма**, и лишь на конечных этапах поражается **геном**.



APOPTOSIS



Благодарим за внимание!

