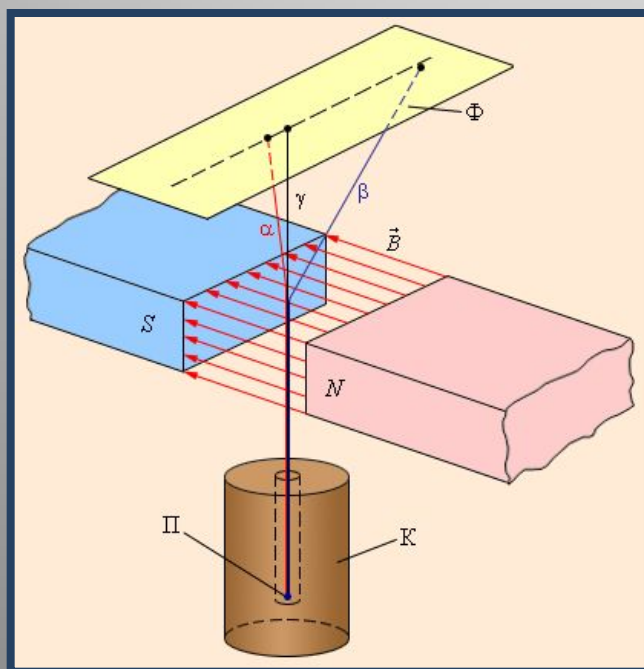


Биофизика ионизирующего излучения



коэффициенты радиационного риска для отдельных органов

Органы, ткани

Коэффициент

Гонады (половые железы)

0,2

Красный костный мозг

0,12

Толстый кишечник

0,12

Желудок

0,12

Лёгкие

0,12

Мочевой пузырь

0,05

Печень

0,05

Пищевод

0,05

Щитовидная железа

0,05

Кожа

0,01

Клетки костных поверхностей

0,01

Головной мозг

0,025

Остальные ткани

0,05



Биофизика ионизирующего излучения

План

1. Ионизирующее излучение. Виды. Характеристика. Источники.
2. Радиоактивность. Виды радиоактивного распада.
 - Альфа-распад.
 - Бетта-распад.
3. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.
4. Активность. Единицы активности.
5. Механизмы биологического действия ионизирующего излучения.
 - теория мишени;
 - теория косвенного действия.
6. Биофизика действия ионизирующего излучения на биологические объекты.
7. Радионуклиды и их применение в медицине.
8. Способы защиты от ионизирующего излучения.
9. Рентгеновское излучение. Исторические аспекты.
10. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновская трубка.
11. Виды рентгеновского излучения.
 - Тормозное излучение. Спектр тормозного излучения.
 - Характеристическое излучение. Закон Мозли.
12. Коэффициент полезного действия рентгеновской трубки.
13. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.
14. Поток рентгеновского излучения. Закон ослабления рентгеновского излучения веществом.
15. Физические основы рентгеноскопии и рентгенографии.

1. Ионизирующее излучение. Виды. Характеристика. Источники

Ионизирующее излучение - это излучение, взаимодействие которого со средой приводит к ионизации атомов и молекул.

Два вида ионизирующих излучений:

- ❖ **В виде частиц**-альфа, бета, нейтроны, протоны, потоки тяжёлых ядер и др.
- ❖ **Электромагнитное излучение** - рентгеновское и гамма излучение.

Естественный фон - 100-150 мбэр/год

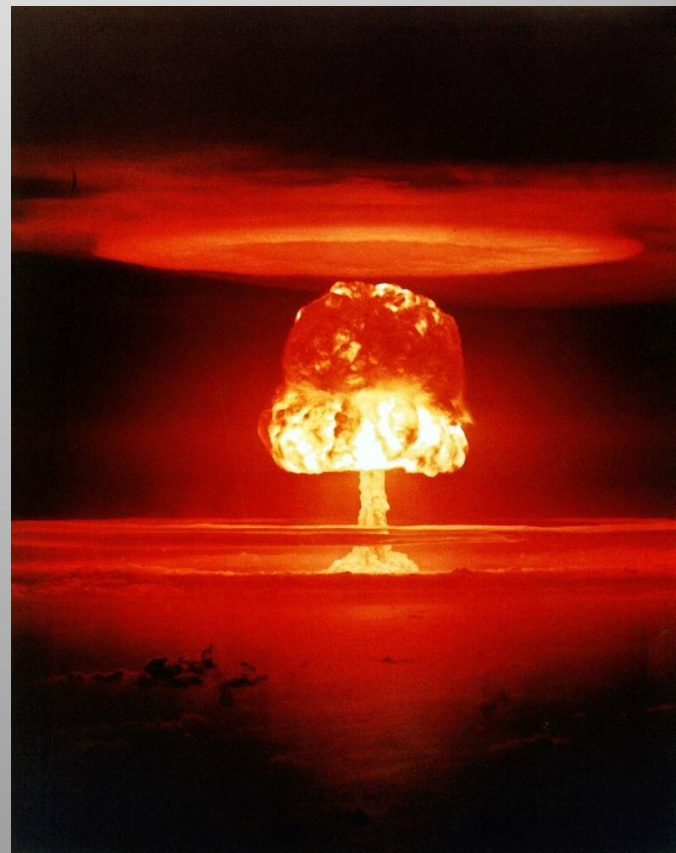
Источники радиации

←
Естественные

→
Искусственные



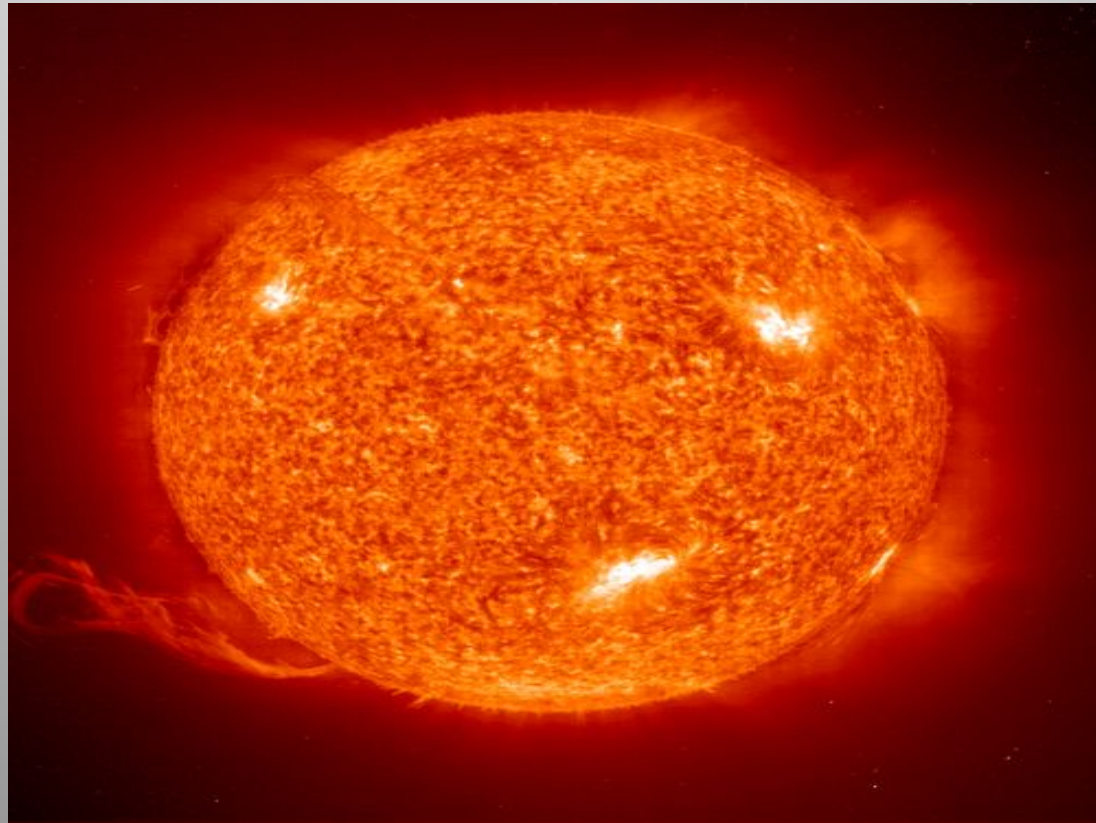
Солнечная радиация



Естественные источники:

- ☐ Солнце
- ☐ Космические лучи
- ☐ Земная радиация
- ☐ Внутреннее облучение

Галактическое и солнечное космическое излучение- это поток **протонов**. Именно от этих частиц необходимо защитить космонавтов.



ГКИ и СКИ

СКИ возникает в результате солнечных вспышек на Солнце 11-летними циклами.

Доза может составить несколько десятков или сотен бэр.

При полётах на больших высотах пилоты и пассажиры подвергаются облучению за счёт галактического (ГКИ) и солнечного космического излучения (СКИ).

В земной коре содержатся радиоактивные элементы-

- уран-238 (1-3)г/т,
- торий-232 (10-13)г/т,
- калий-40 (15-25)г/т,
- рубидий-87 (40г/т).

Эти изотопы являются основными источниками гамма излучения.

В зависимости от типа пород такой ионизации соответствует доза в среднем-**90 мбэр/год.**

В истории земли существовали естественные ядерные реакторы. В Африке был открыт естественный реактор, который возник 2 млрд. лет назад и работал около 500 тыс. лет. Выделенная энергия-100млрд.кВт·час.

Гамма излучение естественных радиоактивных веществ, содержащихся в строительных материалах.

- Ионизация в центре комнаты примерно в 2 раза выше, чем над почвой.
- В кирпичных домах доза больше чем в деревянных и составляет 80 мбэр/год.
- В незначительных количествах естественные радиоизотопы встречаются в любой почве.
- Больше всего их в гранитах, монацитах, глинозёмах, меньше - в песчанниках и известняках.

Пути проникновения радиации

Ткани человека содержат радиоактивные вещества:

□ C^{14} - содержится во всех тканях.

□ K^{40} - в мышцах

□ Ra^{226} - Ra^{224} , стронций, фосфор - в костях

□ Rn, Tr - вдыхаются с воздухом и откладываются в лёгких.



Места накопления радионуклидов в организме и период полураспада

Щитовидная железа

Йод-129 15,7 млрд. лет

Печень

Цезий-137 30,1 года
Плутоний-238 88 лет
Плутоний-239 24,4 тыс. лет

Кости

Углерод-14 5,7 тыс. лет
Плутоний-238 88 лет
Плутоний-239 24,4 тыс. лет
Радий-226 1,6 тыс. лет
Стронций-89 50,6 лет
Стронций-90 28 лет
Торий-234 14,1 млрд. лет
Уран-233 1,6 млн. лет

Лёгкие

Плутоний-238 88 лет
Плутоний-239 24,4 тыс. лет
Уран-233 1,6 млн. лет

Почки

Цезий-137 30,1 года

Половые органы

Плутоний-239 24,4 тыс. лет
Калий-40 1,28 млрд. лет

Мышцы

Цезий-137 30,1 года
Калий-40 1,28 млрд. лет



Источники:
ssmpborisov1.narod.ru;
chemister.da.ru

Искусственные источники:

- Ядерные взрывы
- Атомная энергетика
- Профессиональное облучение
- Источники, используемые в медицине



Ядерные взрывы



Ядерные взрывы



Ядерные взрывы

- Всего испытано-467 ядерных зарядов.(СССР, США, Англия, Франция, Китай).
- Самые распространённые виды заболевания-лейкоз, рак молочной железы, щитовидной.
- При взрыве бомбы в Хиросиме и Нагасаки в 1945г погибло 100тыс человек.
- 14 сентября 1954г. –ядерный взрыв на Тоцком полигоне.
- В оренбургской области произведено 5 подземных испытаний.

Аварии на предприятиях атомной энергетики

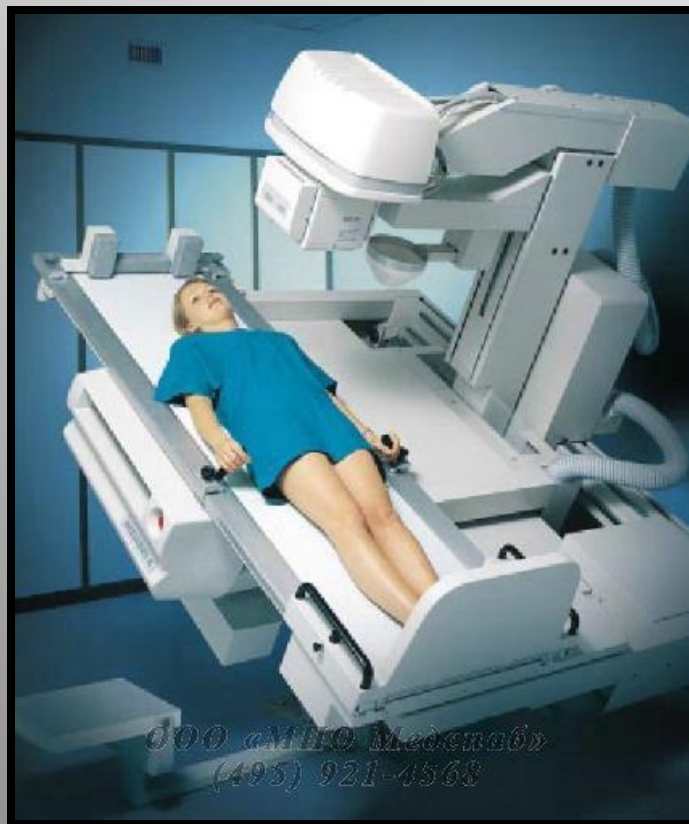


26 апреля авария 1986г на Чернобыльской АЭС.

Площадь-25000кв. км являются пострадавшими с уровнем концентрации цезия-137 более 5 Ки/кв.км.



Среднее значение индивидуальной эквивалентной дозы облучения от медицинских процедур оценивается в 40 мбэр/год.



Защита от ионизирующего излучения



Защита от ионизирующего излучения

$$D_0 = k_{\gamma} \frac{A}{R^2} t$$

k_{γ} -ионизационная постоянная

A- активность радиоактивного препарата

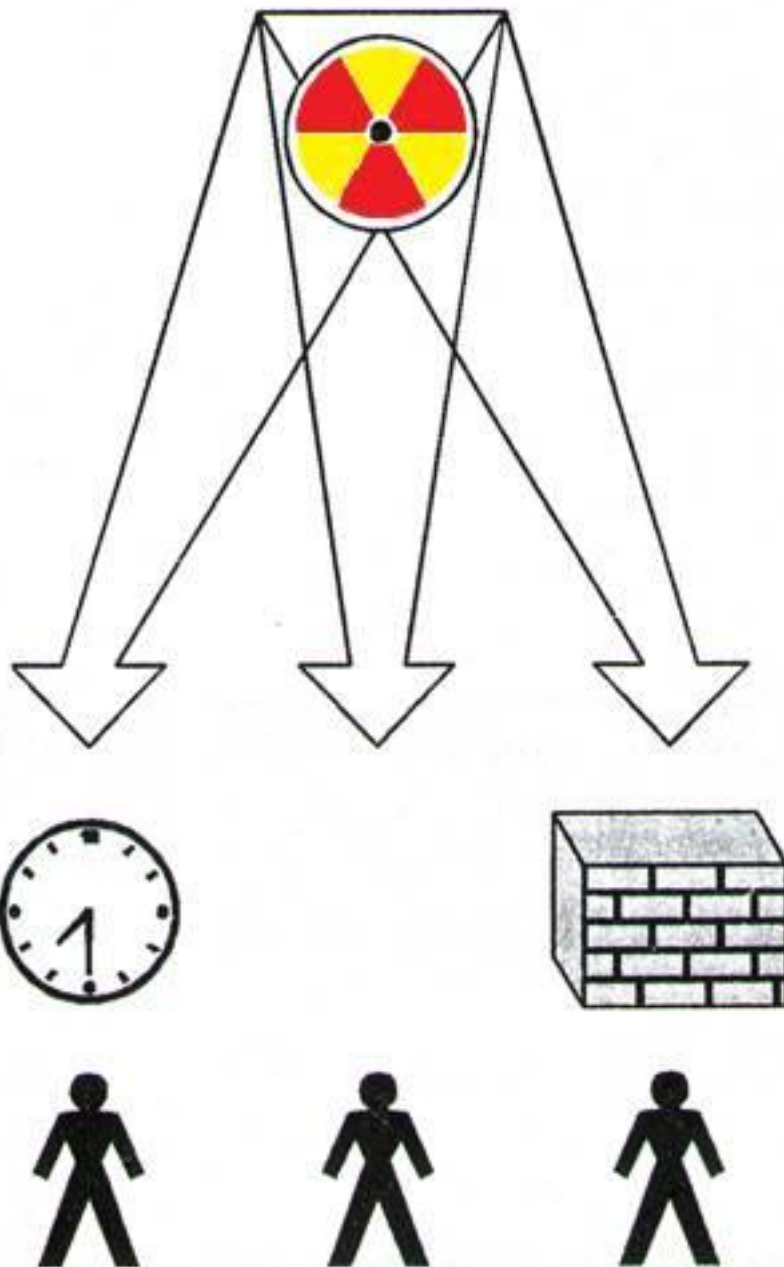
R -расстояние от радиоактивного вещества

t –время облучения

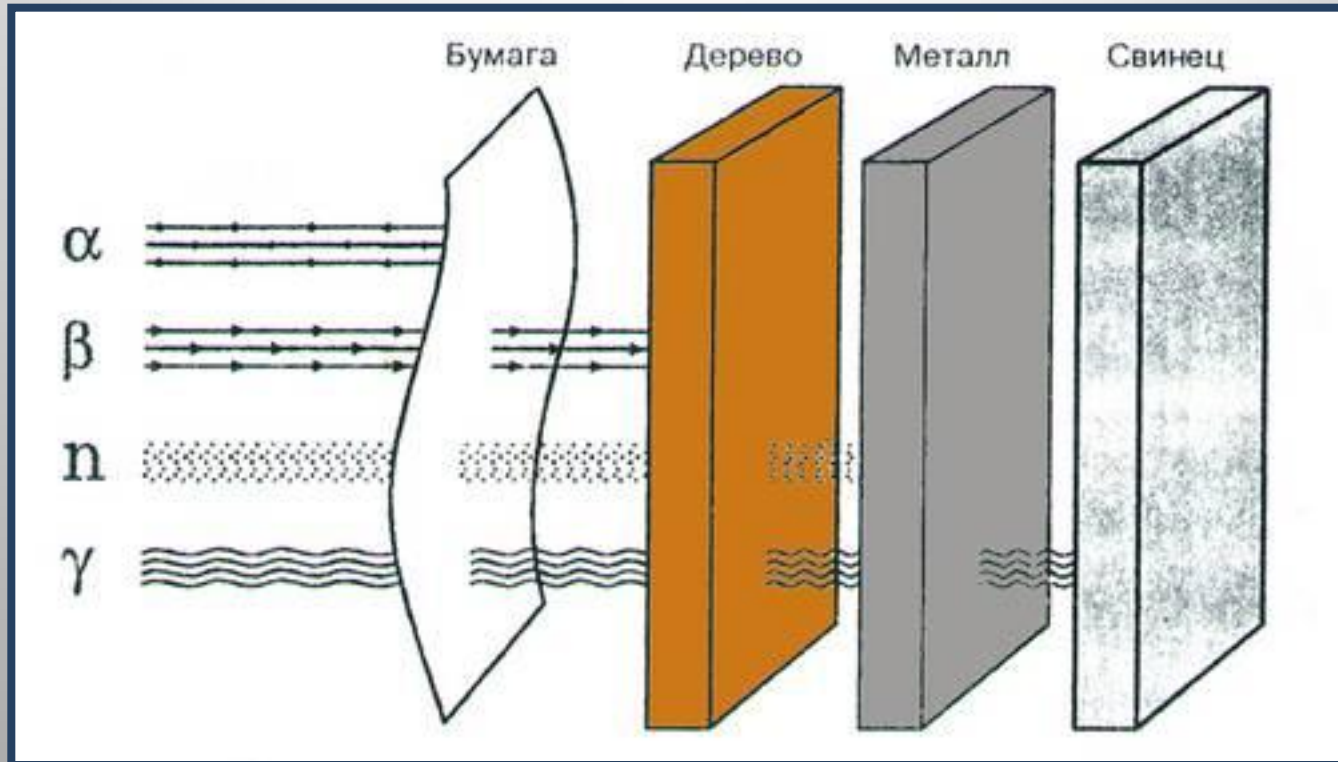


Виды защиты:

- временем
- расстоянием
- веществом
- химическая защита

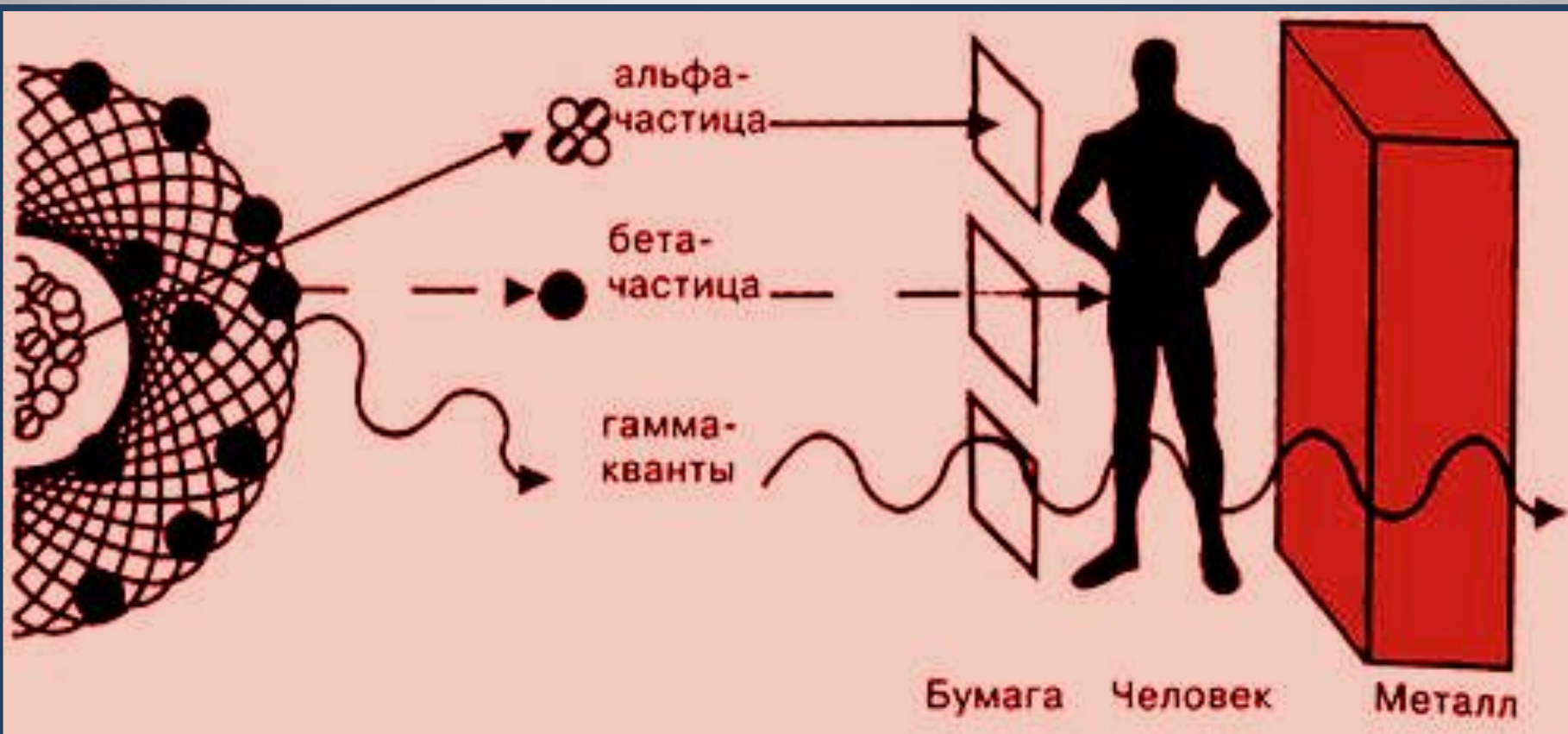


Защита веществом



Защитные свойства материала определяются коэффициентом ослабления- μ для узкого пучка гамма излучения.

Сравнительная характеристика проникающей способности α , β , γ -излучений



Защита от альфа излучения проста: достаточно листа бумаги или слоя воздуха толщиной в несколько см, чтобы полностью поглотить альфа частицы.

Для защиты от бета излучения достаточно пластин из алюминия, плексиглаза или стекла толщиной в несколько см.

Наиболее сложна защита от рентгеновского и гамма излучения.

Для защиты применяют вещества: свинец, бетон. Толщину защитного слоя подбирают такой, чтобы мощность дозы в помещении не превышала предельно допустимого значения.

$D_{пр} = 5$ бэр/год-для персонала,

$D_{пр} = 0,5$ бэр/год-для населения.

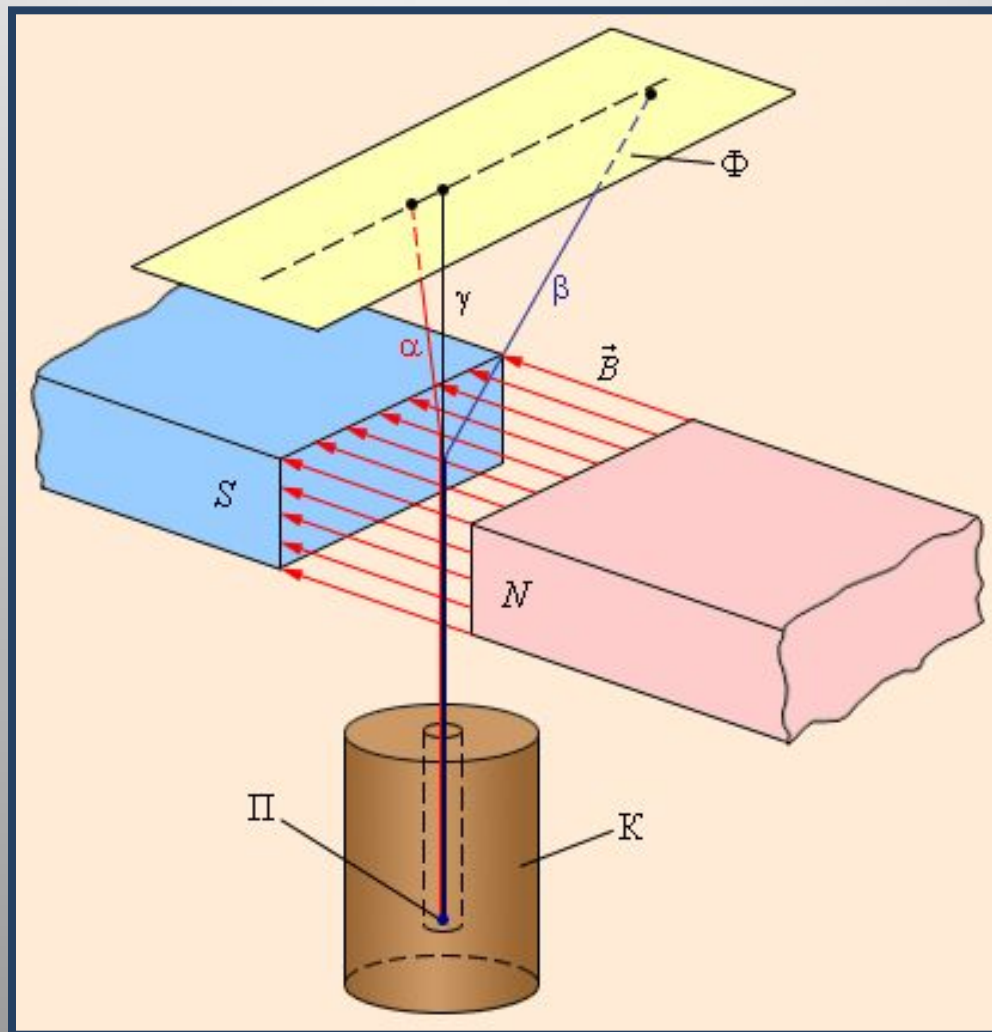
Химическая защита

- Соединения, препятствующие всасыванию радиоактивных веществ или препятствующие их отложению в критических органах.
- Соединения, способствующие ускорению выведения из организма радионуклидов.

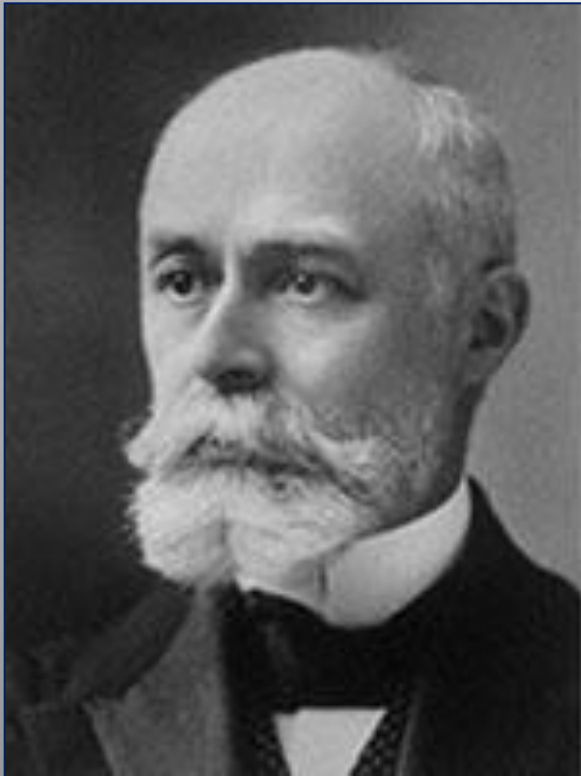
Альгинаты-вещества, которые помогают противостоять радиации.

Радиопротекторы - увеличивают устойчивость организма к радиации, создавая в клетках недостаток кислорода. При этом клетка делится не так активно, количество повреждений уменьшается. К ним относятся: различные группы витаминов, каротин, пептины, янтарная кислота.

Радиоактивное излучение



Беккерель Антуан Анри (1852–1908)



Французский физик. Открыл (1896) и изучил явление самопроизвольного излучения солями урана и металлическим ураном лучей особой природы, названное М. Кюри в 1898 радиоактивностью.

В честь Беккереля названа единица измерения активности радиоактивных изотопов.

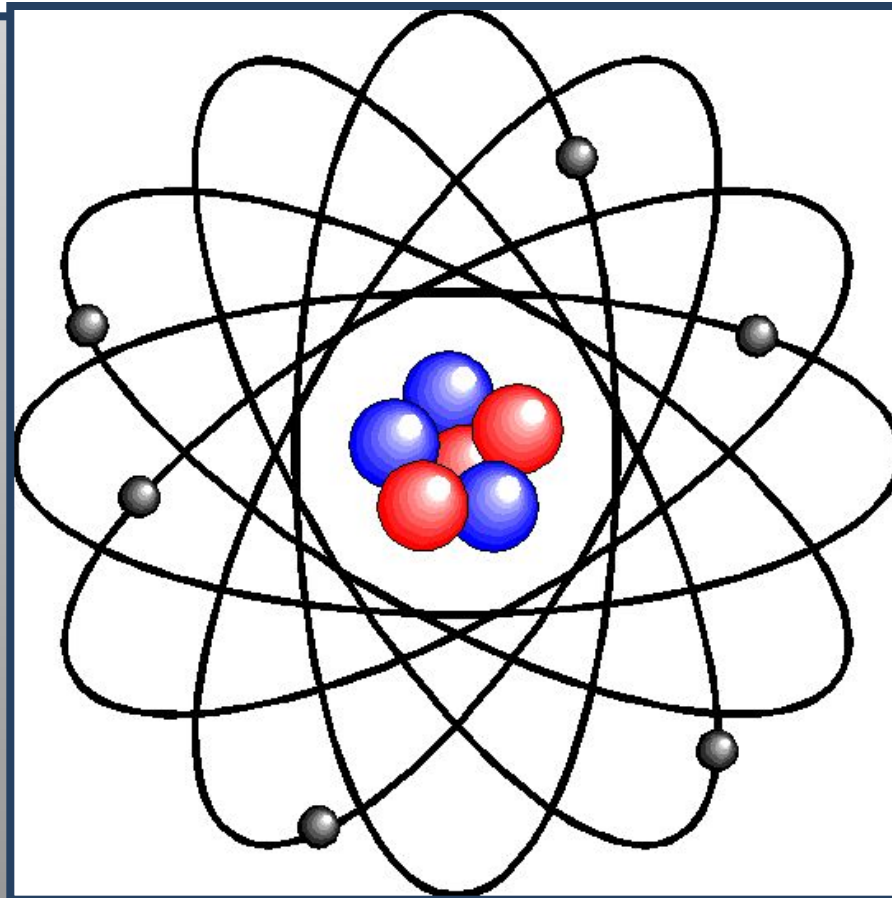


Склодовская-Кюри Мария (1867–1934)

Химик и физик. Является одним из основоположников учения о радиоактивности. Нобелевская премия по физике (1903, совместно с П. Кюри). Нобелевская премия по химии (1911).

Радиоактивность- свойство ядер определённых элементов самопроизвольно превращаться в ядра других элементов с испусканием особого рода излучения, называемого радиоактивным излучением (**α** , **β** , **γ**).

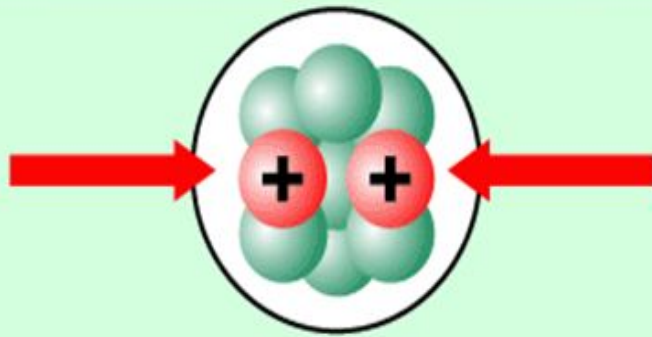
Ядро состоит из **протонов**(положительный заряд) и **нейтронов** (нет заряда).



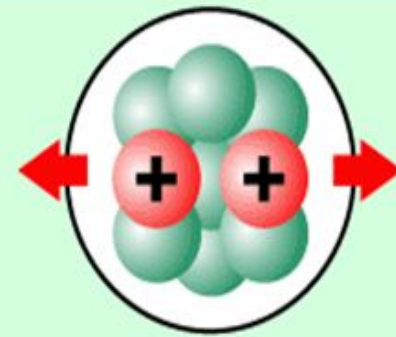
Нуклоны в ядре удерживаются ядерными силами.

Свойства ядерных сил:

1. Сильнодействующие
2. Короткодействующие



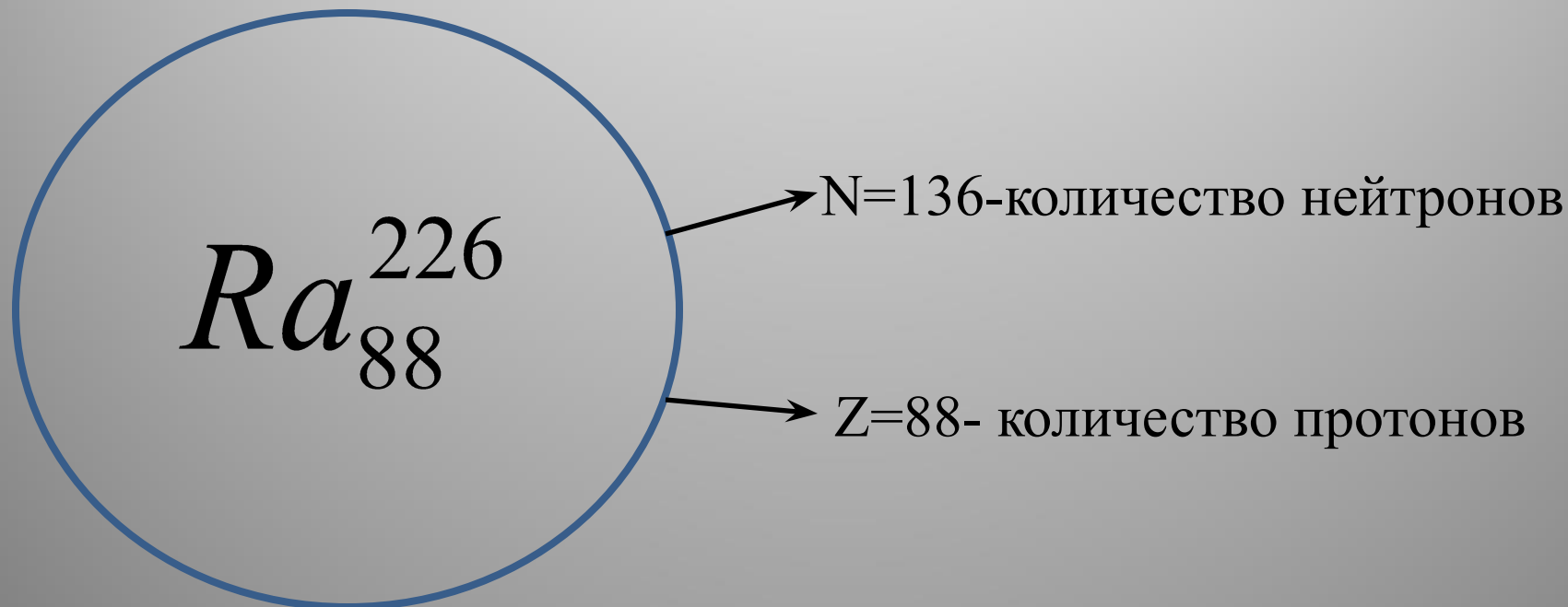
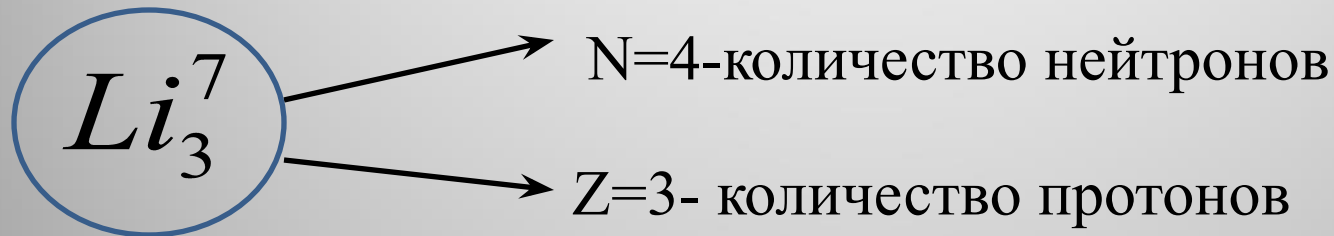
Ядерные силы



Кулоновские силы

Причины радиоактивного распада:

- размер ядер
- короткодействие ядерных сил

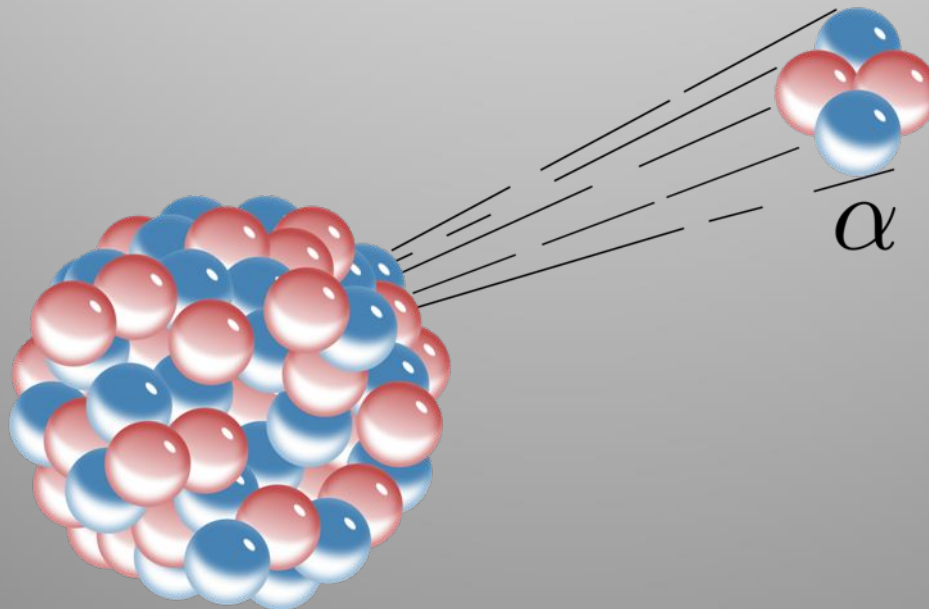
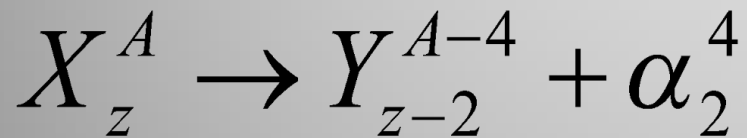


Виды радиоактивного распада:

- α -распад $2P_1^1 + 2n_0^1 = \alpha_2^4$
- β_{-1}^0 -распад $n_0^1 \rightarrow P_1^1 + \beta_{-1}^0 + \tilde{\nu}$
- β_{+1}^0 -распад $P_1^1 \rightarrow n_0^1 + \beta_1^0 + \nu$
- Электронный захват(к-захват)

α -распад- превращение ядра одного элемента в ядро другого с испусканием α и γ излучений.

Схема α -распада:



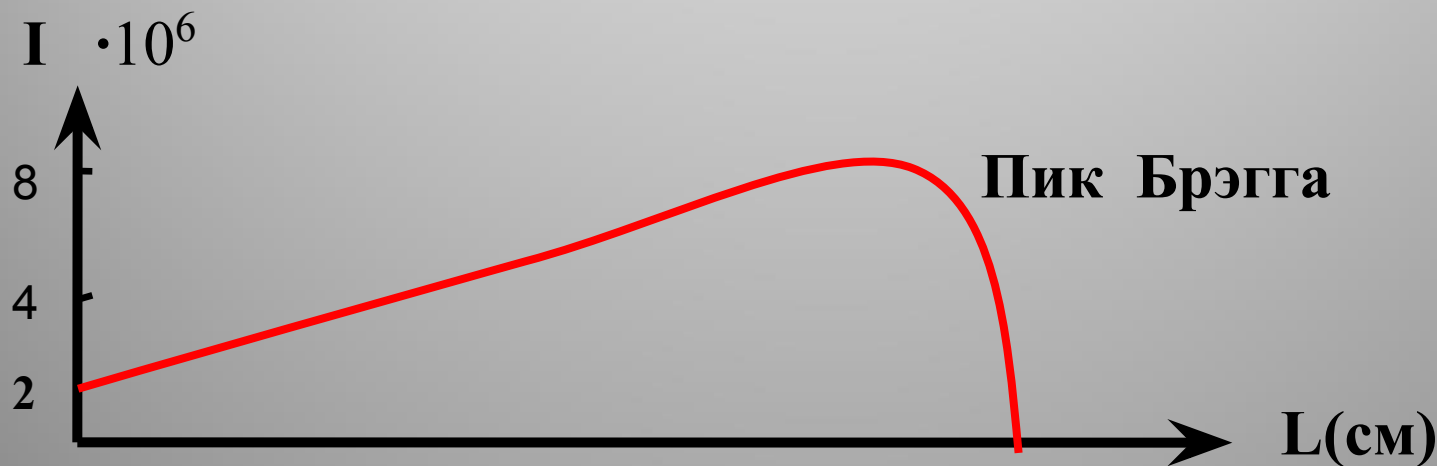
Характеристика α -излучения и взаимодействие α -излучения с веществом

- Энергия α -частиц лежит в интервале (4-9) МэВ.
- Спектр α -излучения линейчатый.
В результате распада образуется 3 группы α -частиц с одинаковой энергией:
- α -частицы-вылетают из ядер радиоактивных элементов со скоростями от 14000 до 20000 км/с.

□ **Линейная плотность ионизации**-количество ионов, образующихся на единице пути.

$i = (2-8) \cdot 10^6$ пар ионов/м

$$i = \frac{dN}{dl}$$



- **S - Линейная тормозная способность** - это энергия, теряемая на единице пути.

$$S = \frac{dE}{dl} \quad S = 70-270 \text{ МэВ/м.}$$

- **Средний линейный пробег**- $R = 10-100$ мкм.

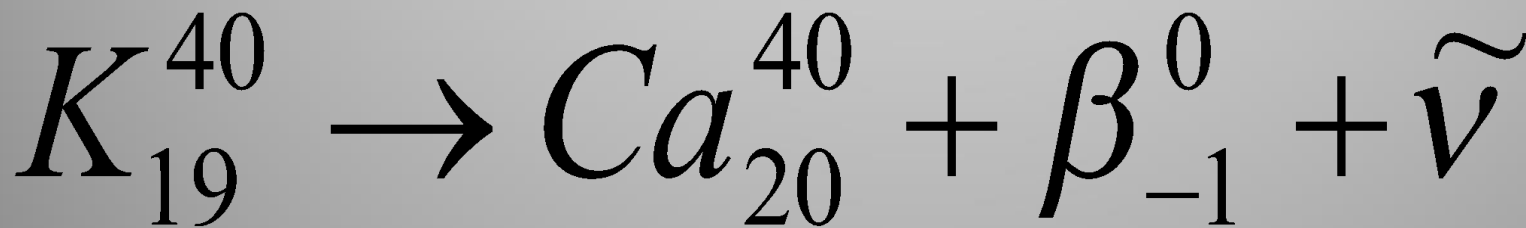
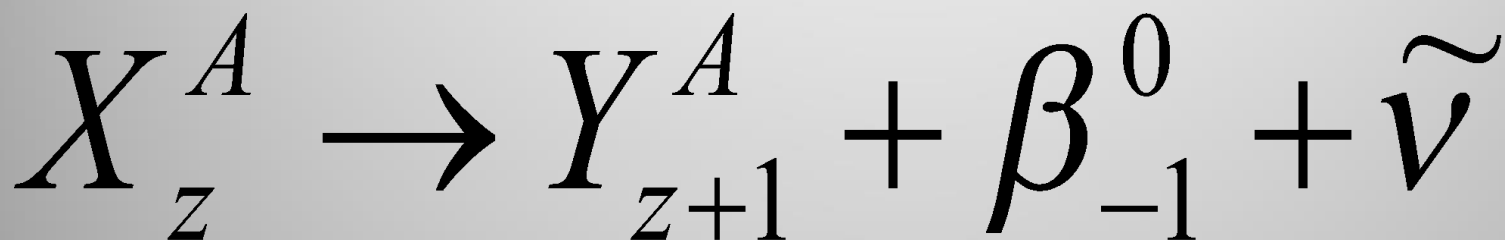
$R = 6$ см- в воздухе

$R = 0.12$ мм- в биологической ткани.

- **α -распад** сопровождается гамма излучением.

Дочернее ядро возникает в возбужденном состоянии. Переходя в состояние с меньшей энергией, ядро высвечивает γ -фотоны.

Электронный β -распад-это превращение ядра одного элемента в ядро другого элемента и с образованием β и γ излучений.



Характеристика β -излучения и взаимодействие β -излучения с веществом

- β -распад сопровождается гамма излучением. Дочернее ядро возникает в возбужденном состоянии. Переходя в состояние с меньшей энергией, ядро высвечивает γ -фотоны.
- Вместе с частицами нейтрино (1956г) и антинейтрино уносится энергия.

- **Энергия β -излучения** лежит в пределах от сотых долей МэВ до нескольких МэВ.
- **Скорость β -излучения** равна 200-270 тыс км/с, т. е. близка скорости света.
- **Линейная плотность ионизации-**
 $i=4600$ пар ионов/м.
- **Длина пробега в:**
 - воздухе-40м,
 - алюминии-2см,
 - биологической ткани-6см.

Характеристика γ -излучения

- Гамма-излучение - это электромагнитное излучение, имеющее $v=300000\text{км/с}$.
- В результате взаимодействия гамма-фотона с веществом γ -фотон исчезает и образуется пара-электрон и позитрон. $\gamma = e_-^0 + e_+^0$
- Эта реакция должна подчиняться уравнению Эйнштейна: $E=mc^2$, т. е. этот процесс возможен, если $E_\gamma > 1,02 \text{ МэВ}$.
- Гамма-излучение ионизации не производит, но передает свою энергию электронам и позитронам, которые производят ионизацию.

Закон радиоактивного распада-за
любые равные промежутки времени распадается
одна и та же доля имеющихся радиоактивных ядер.

$$dN = -\lambda N dt$$

dN-распавшееся количество атомов

λ - постоянная распада

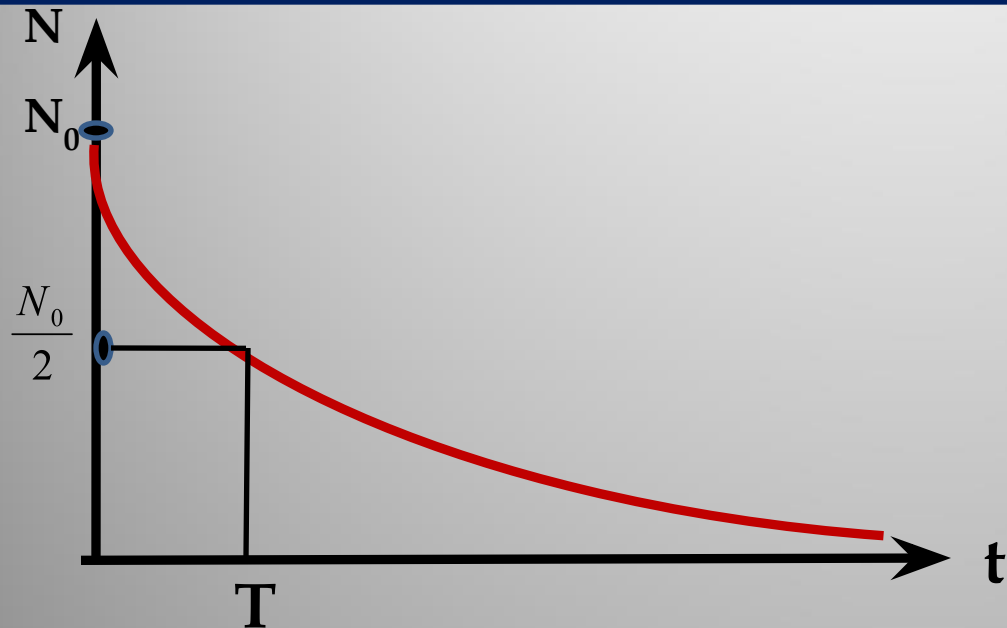
N- имеющееся количество атомов

t - время распада

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Соотношение между постоянной распада и периодом полураспада

T-период полураспада- время в течение которого распадается половина наличных ядер.



$$N = N_0 \cdot e^{-\ln 2 \frac{t}{T}}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

Активность - число распадов в единицу времени

$$A = \frac{dN}{dt}$$

$$A = A_0 e^{-\lambda t} \qquad A = A_0 e^{-Ln2 \cdot \frac{t}{T}}$$

Единицы активности:

1 Беккерель-это активность радиоактивного элемента, у которого за 1 секунду распадается одно ядро.

[A]=**Бк** (Беккерель)- в системе СИ.

[A]=**Ки** (Кюри)- внесистемная единица.

[A]=**Рз** (Резерфорд)- внесистемная единица.

$1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$

$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

$1 \text{ Рз} = 10^6 \text{ Бк}$

Примеры радиоактивных изотопов и их параметры

Символ	Элемент	Атомный номер	Атомная масса	Излучение	Период полураспада
n	Нейтрон	0	1	β^-	10,4 мин
C	Углерод	6	11	β^+	20,4 мин
Na	Натрий	11	24	β^-	14,96 час
I	Йод	53	131	β, γ	8,04 дней
Po	Полоний	84	210	α, γ	138 дней
Co	Кобальт	27	60	β^-, γ	5,27 лет
Sr	Стронций	38	90	β^-	29,1 лет
C	Углерод	6	14	β^-	5730 лет
K	Калий	19	40	β^-, γ, π	$1,227 \cdot 10^9$ лет

Биофизика действия ионизирующего излучения на биологические объекты.

Первичные эффекты

- Теория прямого действия – теория «мишени».**
- Теория косвенного действия.**

Теория «мишени» - (1924 г. Кроутер)

$$V = \frac{0.7}{\rho D_{63}}$$

ρ - плотность

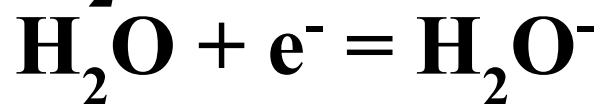
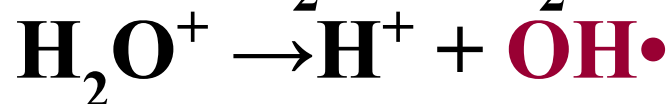
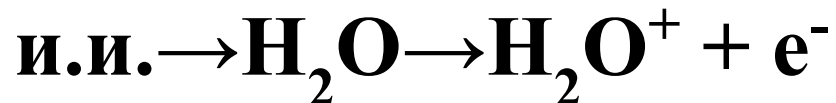
D_{63} – доза, вызывающая 63% инактивации.

Инактивация облучаемого объекта проявляется лишь тогда, когда удар приходится по чувствительному объему в клетке. Если ионизирующая частица пересечет этот объем и возбудит в нем ионизацию, то это обязательно приведет к биологическому эффекту.

- **Теорию «мишени»** можно использовать для определения приблизительных размеров и молекулярного веса некоторых простых биологических систем (вирусов, бактериальных спор).
- Теория мишени бессильна объяснить действие облучения на сложные биологические объекты.

Теория косвенного действия ионизирующего излучения

- Человеческий организм содержит 65% воды, некоторые органы до 80%.
- Следовательно решающее значение имеет косвенное воздействие через ионизацию молекул воды и химизм последующих реакций со свободными радикалами.



$\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$, $\text{H}_2\text{O}_2\cdot$ - являются свободными радикалами, ведут к разрушению клеток живой ткани.

Этапы биологического действия радиации



Поглощение энергии излучения клетками, тканями организма

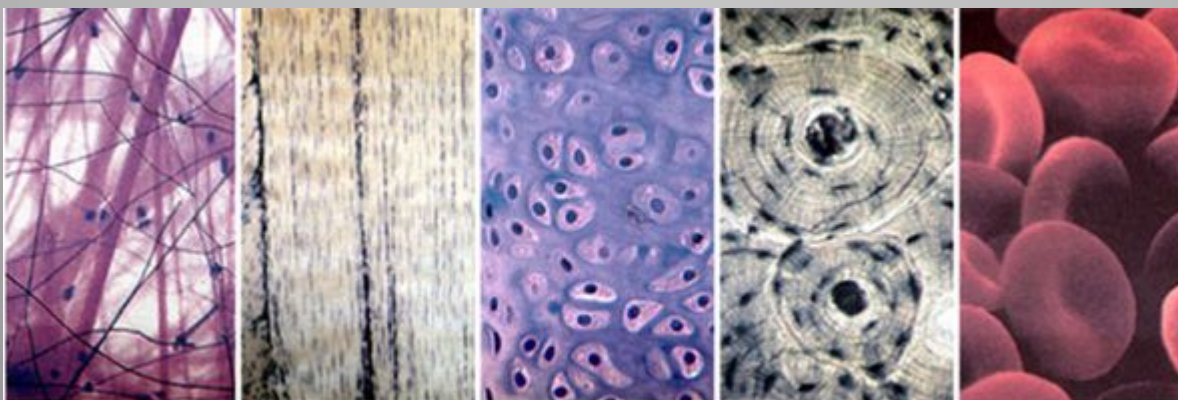
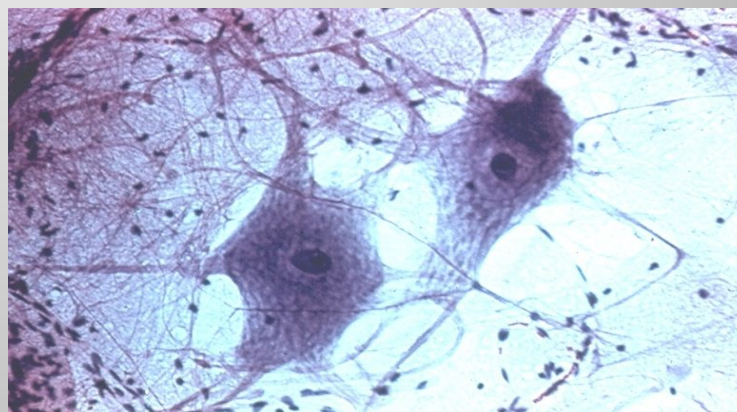
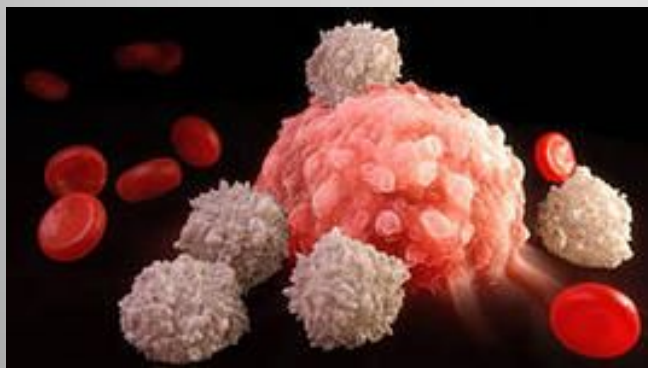
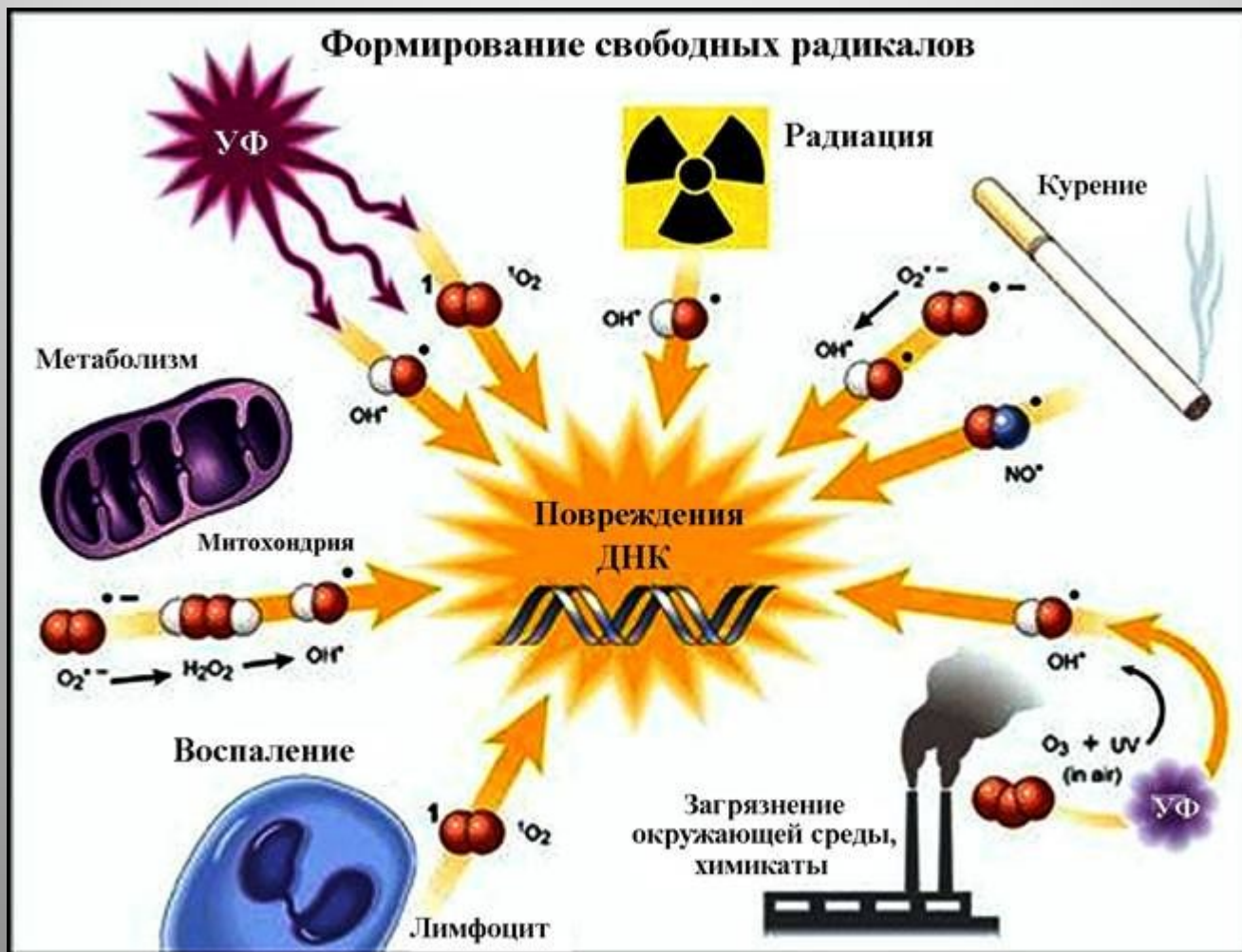
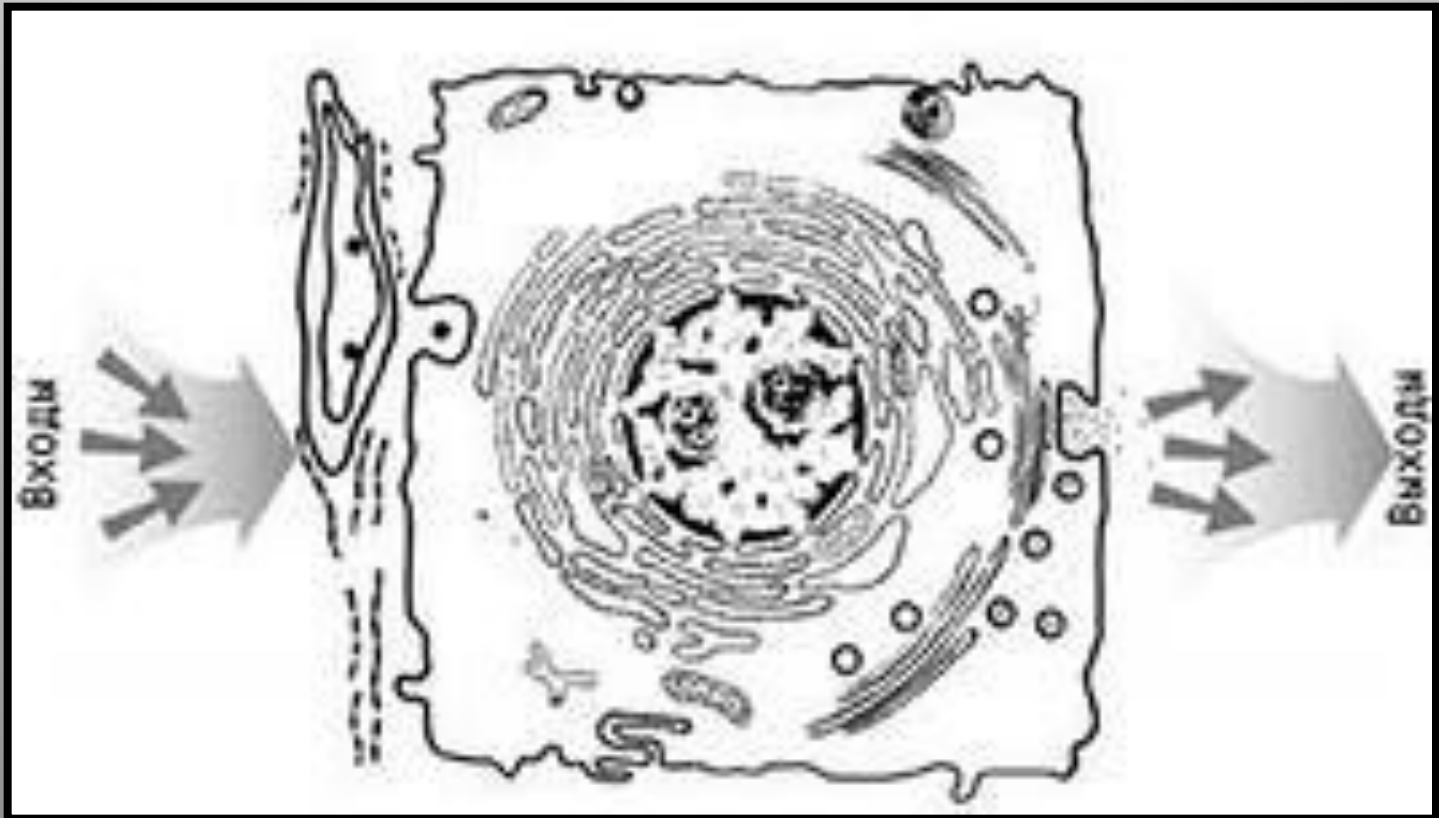


Рис 3. Соединительные ткани. Слева направо: рыхлая соединительная ткань, плотная соединительная ткань, хрящ, кость, кровь. [5]

□ Образование свободных радикалов и окислителей



□ Нарушение биохимических процессов



Мутации



- Каждая клетка организма содержит молекулу ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота), которая несёт информацию для правильного воспроизведения новых клеток
- ДНК – это молекула состоящая из длинных, закругленных молекул в виде двойной спирали.
- Функция ее заключается в обеспечении синтеза большинства белковых молекул из которых состоят аминокислоты.

Нарушение физиологических процессов



● 4 недели



● 8 недель



● 18 недель



● 38 недель

Группы критических органов и тканей в зависимости от радиочувствительности:



1. ПОЛОВЫЕ ОРГАНЫ,
КИШЕЧНИК, ЛЕГКИЕ.

2. МЫШЦЫ, ЩИТОВИДНАЯ
ЖЕЛЕЗА, ЖИРОВАЯ ТКАНЬ,
ПЕЧЕНЬ, СЕЛЕЗЕНКА,
ХРУСТАЛИК ГЛАЗА

3. КОЖНЫЙ ПОКРОВ,
КОСТНАЯ ТКАНЬ

Эффекты действия ионизирующего излучения

- Атомный – физическое действие**
- Молекулярный – химическое**
- Клетка – биологическое**
- Органы и системы – биофизическое,
физиологическое**
- Организм в целом-лучевая болезнь**





© Артемий Ласовый

ОТДАМ МИЛОГО ДОБРОГО КОТИКА
г.припять 1.01.2010



ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ ЧЕЛОВЕКА

Под лучевой болезнью человека понимают самые разнообразные проявления поражающего действия ионизирующего излучения на организм.

Эти проявления зависят от следующих факторов:

- ▣ Вид облучения,
- ▣ Общее или местное,
- ▣ Внешнее или внутреннее,
- ▣ Временной фактор – однократное, повторное, пролонгированное, хроническое облучение,
- ▣ Пространственный фактор – равномерное или неравномерное облучение,
- ▣ Облучаемый объем и локализация облученного участка,
- ▣ Характерная черта острой лучевой болезни – волнообразность клинического течения.

ФАЗЫ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

□ Фаза первичной общей реакции.

Первичная реакция организма человека возникает быстро и проявляется во всех случаях облучении при дозах, больше

2 Гр. Пострадавшие испытывают чувство тяжести в голове, головную боль, общую слабость, сонливость. Продолжительность фазы 1-3 дня.

□ Фаза кажущегося клинического благополучия.

Через 2-4 дня симптомы первичной реакции исчезают и самочувствие больных улучшается или даже нормализуется. Продолжительность этой стадии от 14 до 18 дней. Во время этой фазы отмечаются выпадение волос и неврологическая симптоматика.

□ **Фаза выраженных клинических проявлений.**

К концу латентного периода самочувствие больных вновь резко ухудшается, нарастает слабость, повышается температура, увеличивается СОЭ. Развивается тяжелая картина заболевания, в связи с чем эту фазу часто называют разгаром болезни, возникает так называемый геморрагический синдром, кровоизлияния в слизистые оболочки, кожу, ЖКТ, мозг, сердце, легкие. К концу фазы начинает прогрессировать анемия. Эта фаза продолжается в течении 1-3 недель.

□ **Фаза восстановления.**

Продолжительности этой фазы 2-2,5 мес. Нормализуется температура, появляется аппетит, восстанавливается сон. К концу 3-его месяца самочувствие становится вполне удовлетворительным.

□ **Фаза выраженных клинических проявлений.**

К концу латентного периода самочувствие больных вновь резко ухудшается, нарастает слабость, повышается температура, увеличивается СОЭ. Развивается тяжелая картина заболевания, в связи с чем эту фазу часто называют разгаром болезни, возникает так называемый геморрагический синдром, кровоизлияния в слизистые оболочки, кожу, ЖКТ, мозг, сердце, легкие. К концу фазы начинает прогрессировать анемия. Эта фаза продолжается в течении 1-3 недель.

□ **Фаза восстановления.**

Продолжительности этой фазы 2-2,5 мес. Нормализуется температура, появляется аппетит, восстанавливается сон. К концу 3-его месяца самочувствие становится вполне удовлетворительным.

Основные методы радиоизотопной диагностики:

- радиометрия,
- радиография,
- скеннирование.

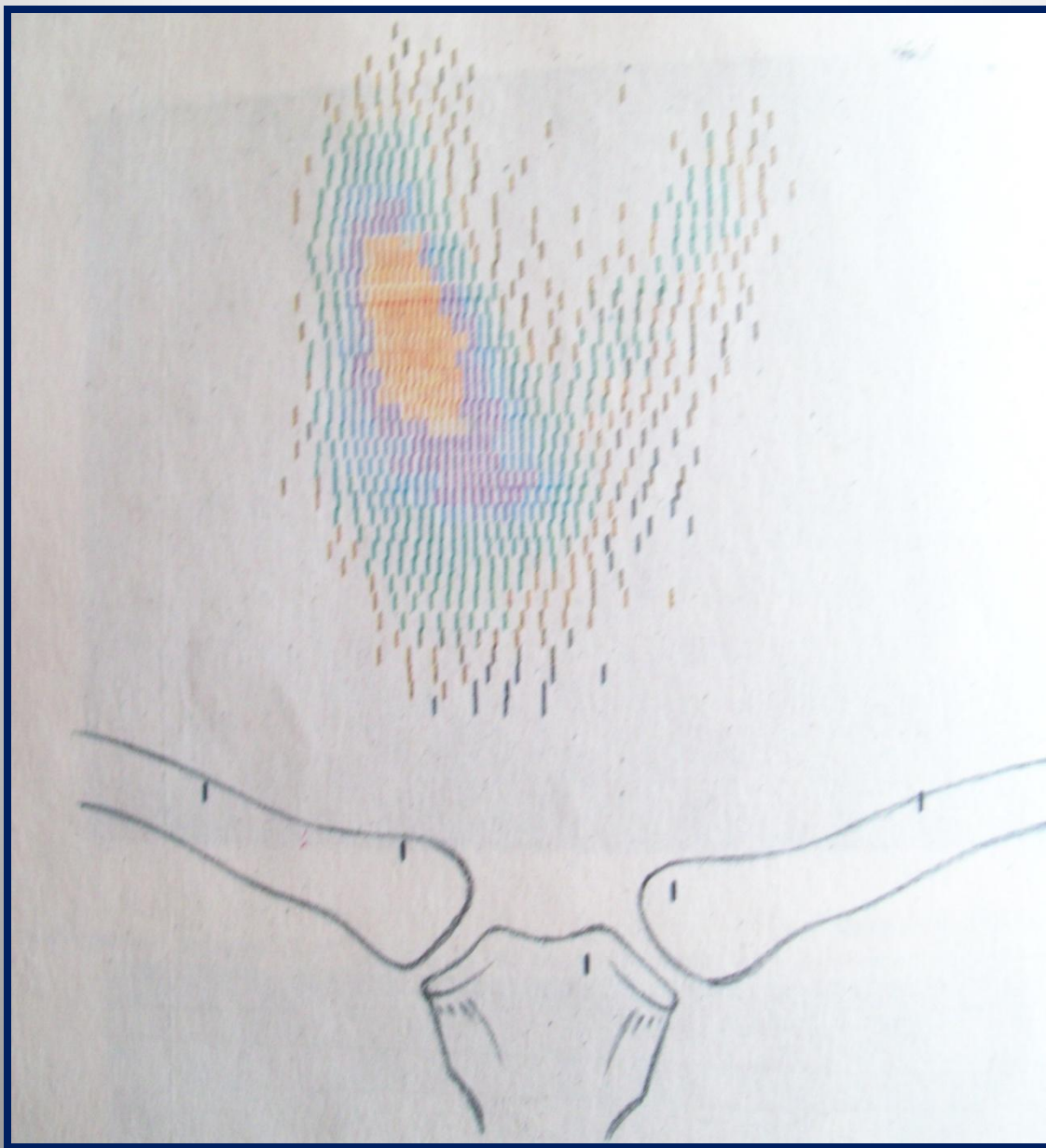
Радиометрия—метод определения активности источника излучения после введения в организм РФП.

Для получения представления о быстро протекающих процессах используют радиографию.

Радиография-метод непрерывной или дискретной регистрации накопления, перераспределения и выведения РФП из организма.

**Радионуклидное сканирование- метод
визуализации органов и тканей с помощью
введения в организм РФП.**

Гамма- излучение распределённого в теле
человека радионуклида регистрируют
посредством движущегося над телом **сканера.**



Сканограмма щитовидной железы. В правой доле определяется зона повышенного накопления РФП – «горячий» очаг.

Лучевая терапия

Ионизирующие излучения применяются для лечения доброкачественных и злокачественных опухолей, а также некоторых неопухолевых заболеваний — хронических и острых воспалительных процессов.

