

# Ионизирующие излучения



# Что это такое?

## ▶ Радиоактивность

Слово радиация происходит от латинского radiatio – сияние, блеск, и формально обозначает любое излучение. – самопроизвольный распад неустойчивых атомных ядер, сопровождающийся испусканием частиц или коротковолнового электромагнитного излучения.

▶ **Естественная радиоактивность** – самопроизвольный распад атомных ядер, встречающихся в природе.

▶ **Искусственная радиоактивность** - самопроизвольный распад атомных ядер, полученных искусственным путем через соответствующие ядерные реакции.





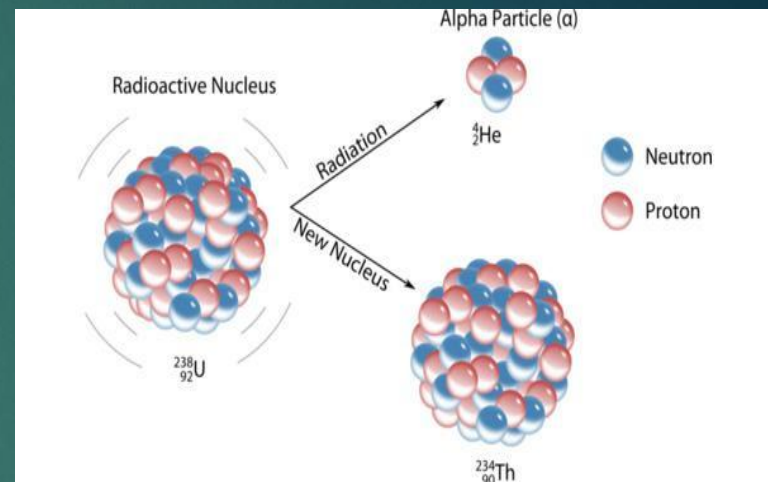
- ▶ Ионизирующие излучения - это разновидности излучения, способные вызвать ионизацию атомов в любой среде, через которую они проходят.
- ▶ Химические элементы, имеющие атомные ядра, подверженные самопроизвольному радиоактивному распаду, получили название радионуклидов.



# Чем обусловлена радиоактивность?

Установлено, что радиоактивны химические элементы с **порядковым номером >82** (т. е. начиная с **висмута**), и некоторые более лёгкие элементы (**прометий и технеций** не имеют стабильных изотопов, а у некоторых элементов, например **индия, калия или кальция**, есть как стабильные, так и радиоактивные).

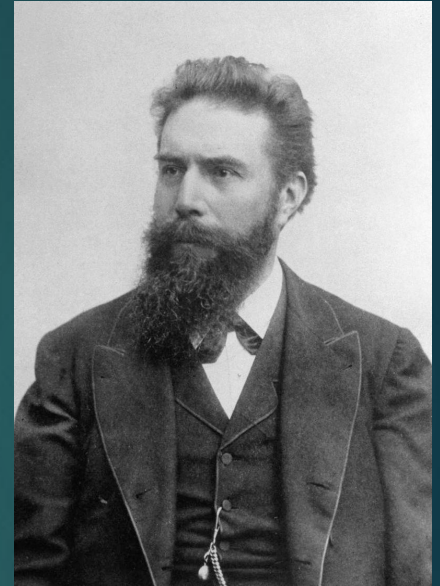
**Нарушение баланса между числом нейтронов и числом протонов в ядре** и является **причиной радиоактивного распада**.



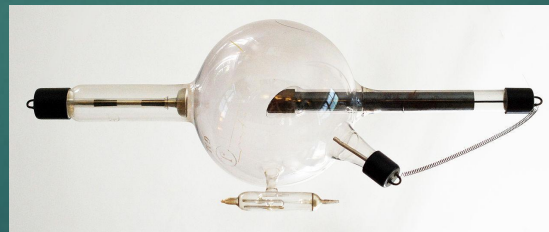
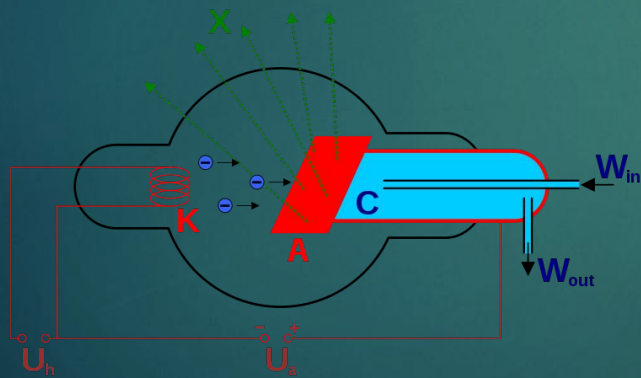
Радиоактивный распад урана-238

# История открытия

Изучая экспериментально катодные лучи, **1895 года** В. К. Рентген заметил, что находившийся вблизи катодно-лучевой трубки картон, покрытый **платиносинеродистым барием ( $Ba[Pt(CN)_4]$ )**, начинает светиться в тёмной комнате. Затем он изучил основные свойства открытого излучения, названного им **X-лучами**.



Вильгельм Конрад Рентген (1845-1923)



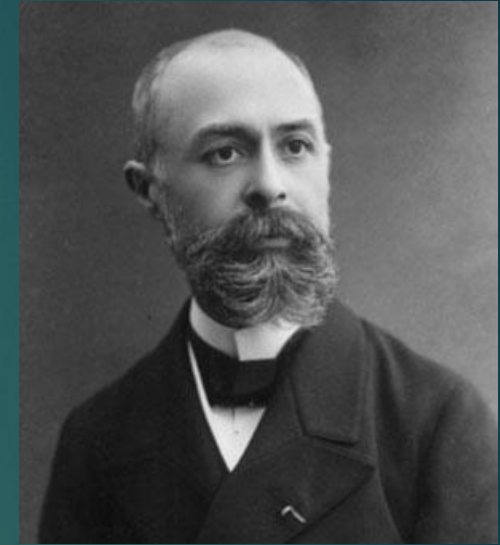
Сделанная В. К. Рентгеном фотография (рентгенограмма)



Трубка Крукса, с помощью которой Рентген получил X-лучи, и её принцип работы

# История открытия

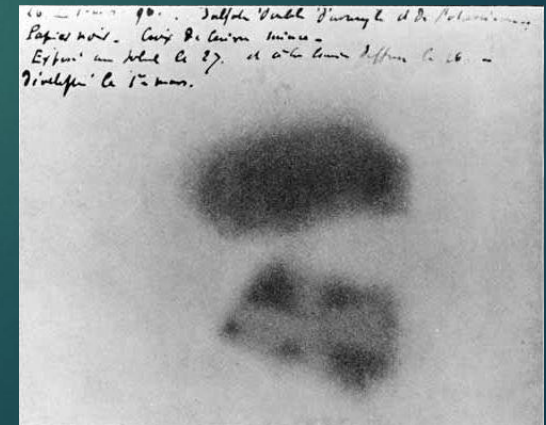
Изучая экспериментально катодные лучи, **1895 года** В. К. Рентген заметил, что находившийся вблизи катодно-лучевой трубки картон, покрытый **платиносинеродистым барием ( $Ba[Pt(CN)_4]$ )**, начинает светиться в тёмной комнате. Затем он изучил основные свойства открытого излучения, названного им **X-лучами**.



Антуан Беккерель  
(1852-1908)

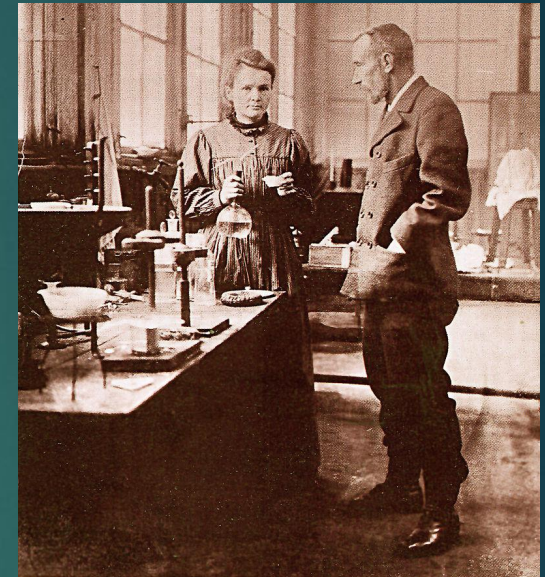


Фотопластинка,  
засвеченная  
Беккерелем



# История открытия

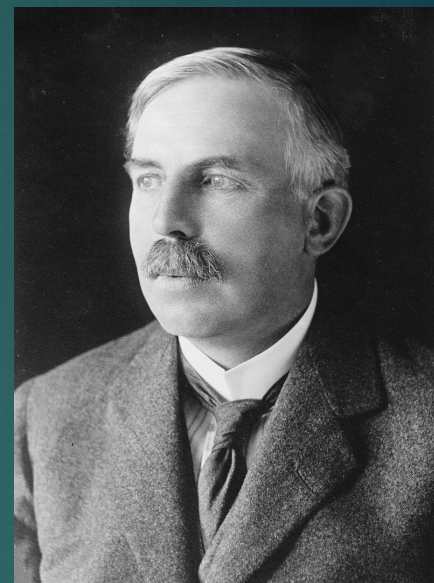
Наблюдения Беккереля заинтересовали французских физиков Марию Склодовскую-Кюри и Пьера Кюри. Они занялись поисками новых радиоактивных химических элементов в минералах урана. Найденные ими в **1898 году полоний Po** и **радий Ra** оказались продуктами распада атомов урана. **Это была уже настоящая революция в химии, так как до этого атомы считались неделимыми, а химические элементы - вечными и неразрушимыми.**



Мария и Пьер Кюри в своей лаборатории. Снимок 1900 года.

# История открытия

Э. Резерфорд обнаружил две составляющие этого излучения: менее проникающую, которую он назвал  $\alpha$ -излучением, и более проникающую, названную  $\beta$ -излучением. Третья составляющая урановой радиации, самая проникающая из всех, была открыта в 1900 году Полем Виллардом и названа Резерфордом  $\gamma$ -излучением. В 1911 году Резерфорд провел опыты с  $\alpha$ -частицами, на основании которого построил планетарную модель атома.



Эрнест Резерфорд  
(1871-1934)



- ▶ Ионизирующее излучение — это излучение радиоактивных лучей, которые при взаимодействии с веществом передают ему энергию, вызывающую ионизацию атомов или молекул. Отрыв электрона от атома или молекулы называется ионизацией. Это ведет к повреждению их структуры и образованию свободных радикалов, играющих роль оксидантов и имеющих повышенную реакционную способность.



Все излучения разделяются на два класса:  
корпускулярные

- ▶- альфа-излучение ( $\alpha$ )
- ▶- бета-излучение электроны ( $\beta^-$ )
- ▶- позитроны ( $\beta^+$ )
- ▶- протоны ( $P'$ )
- ▶- нейтроны ( $n^\circ$ ) и другие (свыше 200 разновидностей)

электромагнитные (фотонные)

- ▶- квантовое гамма ( $\gamma$ )
- ▶- рентгеновское излучение

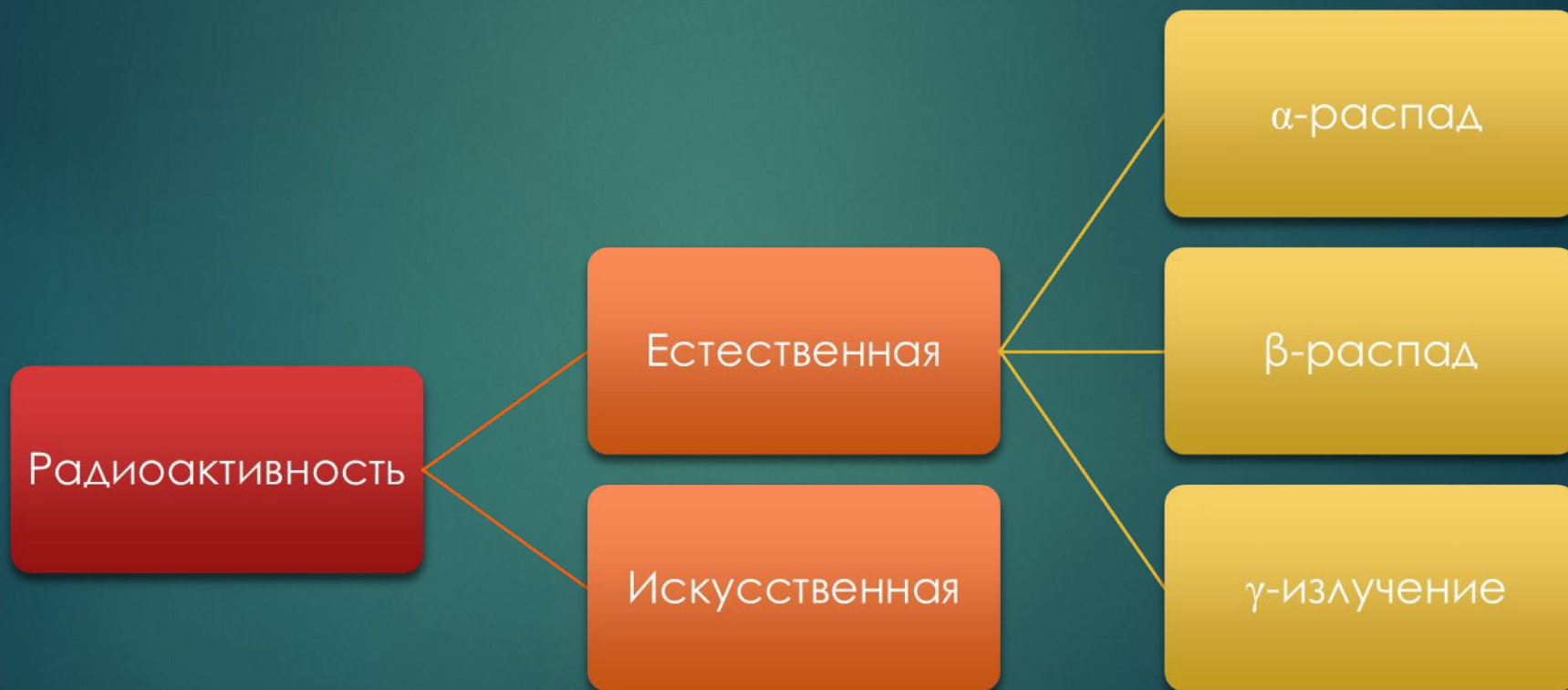


Каждый вид излучения имеет такие свойства:

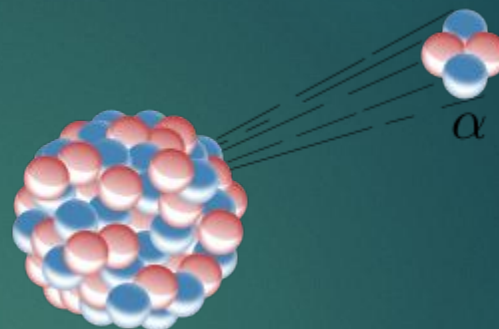
- ▶ 1) энергия;
- ▶ 2) проникающая способность в воздухе и веществе;
- ▶ 3) тепловая (способность превращаться в тепло);
- ▶ 4) ионизирующая (способность образовывать определенное количество пар ионов при взаимодействии с атомами среды);
- ▶ 5) биологическая (способность вызывать изменения структурно-метаболические и функциональные биологических субстратов: от молекулярного уровня до организма);
- ▶ 6) фотохимическая (способность активировать молекулы бромида серебра или других химических соединений);
- ▶ 7) люминесцентная (способность светиться).



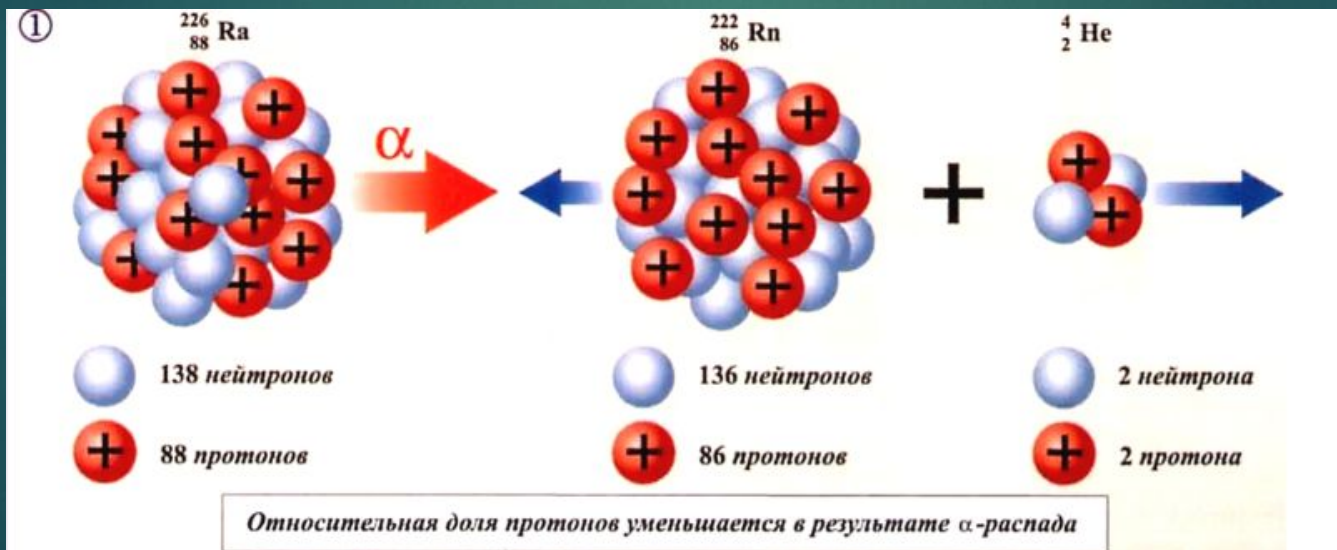
# Виды радиоактивности



# $\alpha$ -распад



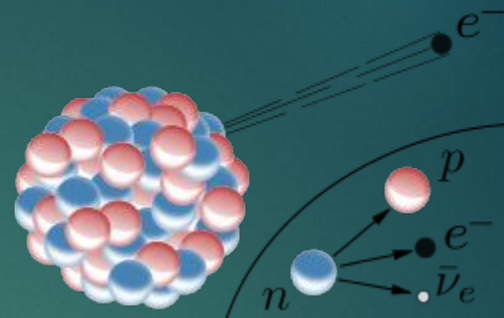
$\alpha$ -распад – спонтанный распад радиоактивного ядра, сопровождающийся испусканием  $\alpha$ -частиц.



►  $\alpha$  (альфа) - излучение – это поток положительно заряженных частиц.  $\alpha$  – частицы – это ядра гелия, которые состоят из двух протонов и двух нейтронов ( ${}^4\text{He}$ ), имеют массу 4 аеи (атомные единицы массы) и позитивный заряд +2. Энергия излучения измеряется электронвольтами (эВ). Электронвольт равняется энергии, которую получает электрон при прохождении разности потенциалов 1 вольт. Образовывающими единицами является килоэлектрон-вольт (кэВ), который равняется  $10^3$  эВ, и мегаэлектронвольт (МэВ), который равняется  $10^6$  эВ. Фотоны солнечных лучей имеют среднюю энергию 8 эВ. Энергия  $\alpha$ -частиц равняется 4-10 МэВ. Они владеют сильной ионизирующей способностью, дают высокую плотность ионизации (за 1 мм пробега возникает 10-20 тыс. и более пар ионов). Пробег в воздухе достигает до 10 см, в ткани проникают на глубину до 50 мкм, могут задерживаться тонким листом бумаги, но по биологической эффективности превышают  $\beta$  и  $\gamma$  - излучение. Опасно действие на живой организм при ингаляционном поступлении или инкорпорации (попадании внутрь организма) радионуклидов



# β-распад



β-распад – спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с большим на единицу зарядовым числом и с прежним массовым.

②

В основе  $\beta^-$  распада реакция:  ${}_0^1n \longrightarrow {}_1^1p + {}_{-1}^0e^- + \bar{\nu}_e$

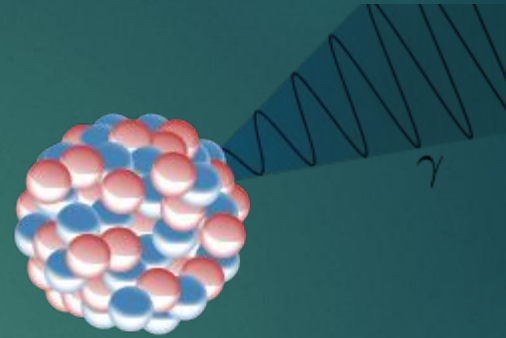
Относительная доля нейтронов уменьшается в результате  $\beta^-$ -распада

►  $\beta$  (бета) - частицы – это электроны, которые имеют отрицательный заряд  $-1$  и очень малую массу, которая в 1840 раз меньше массы протона. Эти частицы выходят из нейтронов атомного ядра, при этом нейтрон превращается в протон и атомный номер элемента увеличивается на одну единицу.  $\beta$ -излучение – это поток отрицательно или положительно заряженных электронов. Различают мягкие  $\beta$ -излучения с энергией до 1 МэВ и жесткие – с энергией до 2-5 МэВ. Скорость движения бета-частиц 200-300 000 км/сек. Длина пробега достигает 15 - 20 м. Материалы (стекло, железо, бетон толщиной в несколько миллиметров) полностью поглощают их. В живые ткани проникают на глубину до 1 см. Одежда почти на половину уменьшает проникновение бета-частиц. Ионизирующая способность в сотни раз меньше чем у альфа-частиц.

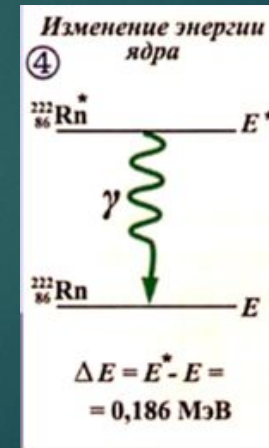
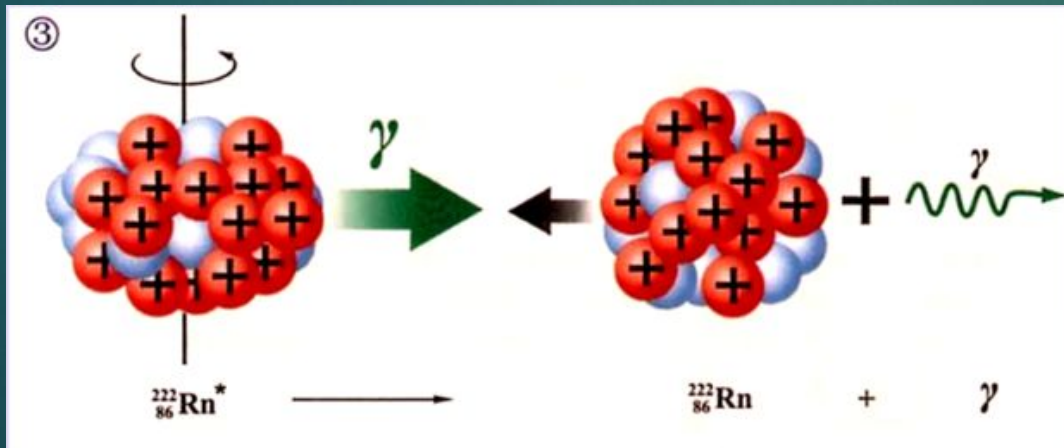




# γ-ИЗЛУЧЕНИЕ



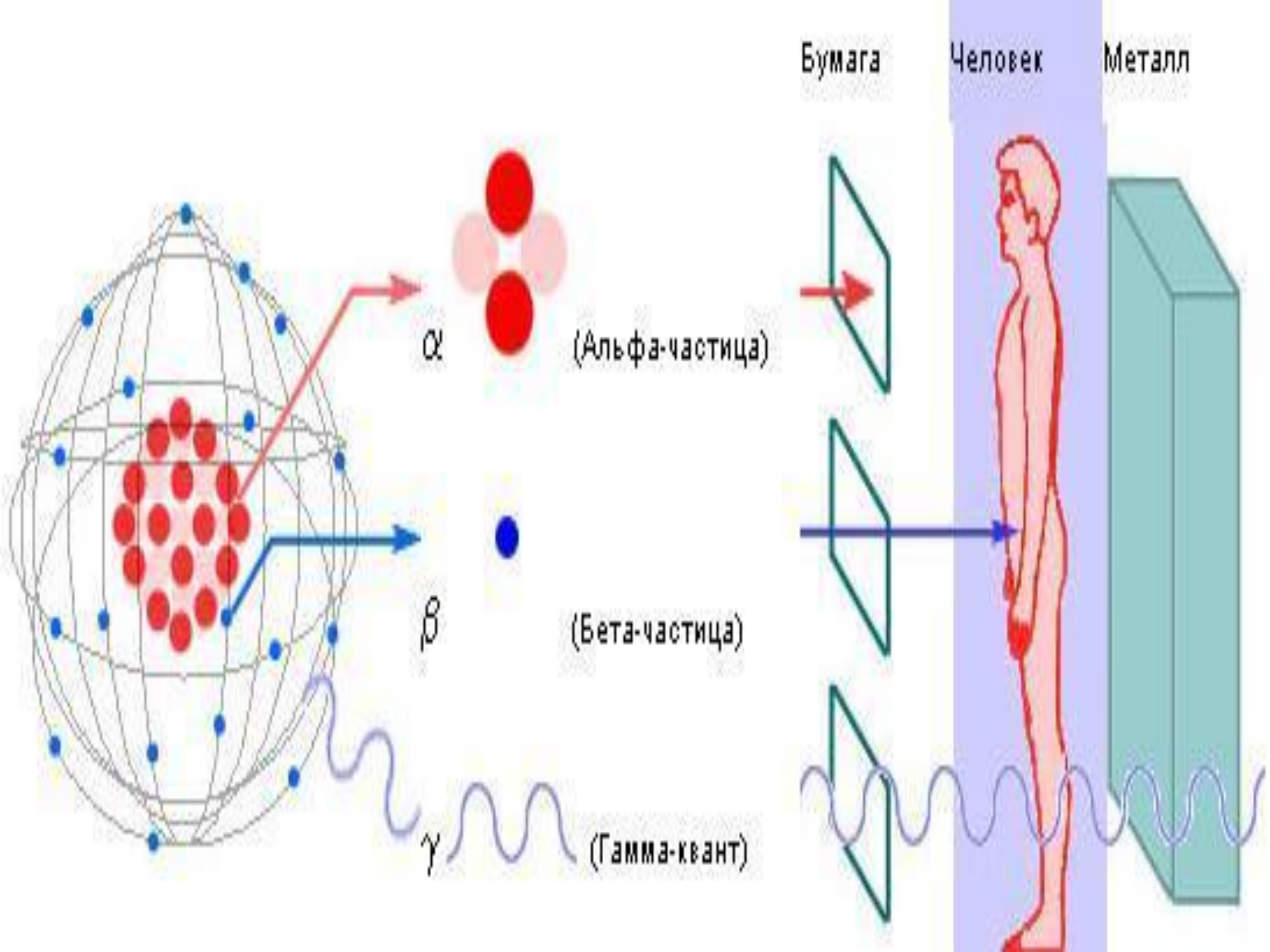
γ-излучение – электромагнитное излучение, возникающее при переходе ядра из возбужденного состояния в более низкое энергитическое состояние.

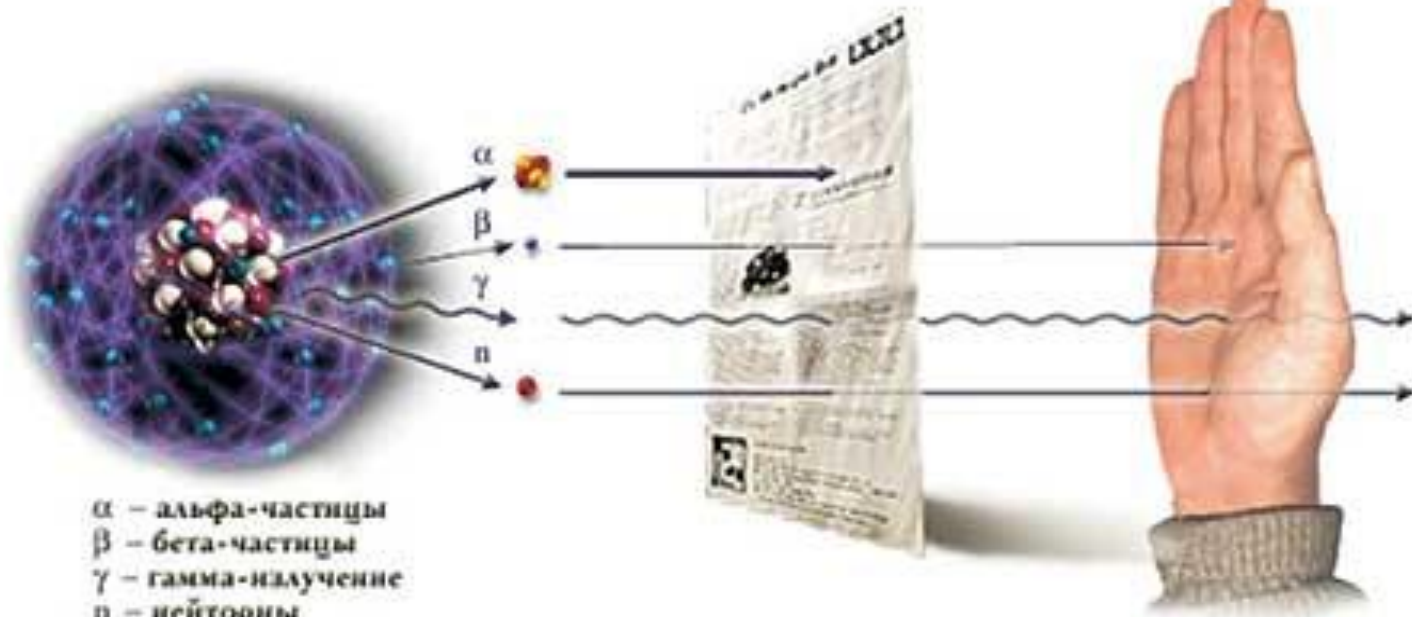


- ▶  $\gamma$  (гамма) и рентгеновские излучения – это излучение электромагнитной природы. Они представляют собой электромагнитные колебание или поток гамма-квантов, которые не имеют массы покоя. Лучи могут распространяться на расстояние до 1,5 км, слабо поглощаются защитными материалами, владеют большой проникающей способностью, в живых тканях проникают на десятки сантиметров, образуя разнообразные инородные соединения, которые негативно влияют на жизнедеятельность организма.



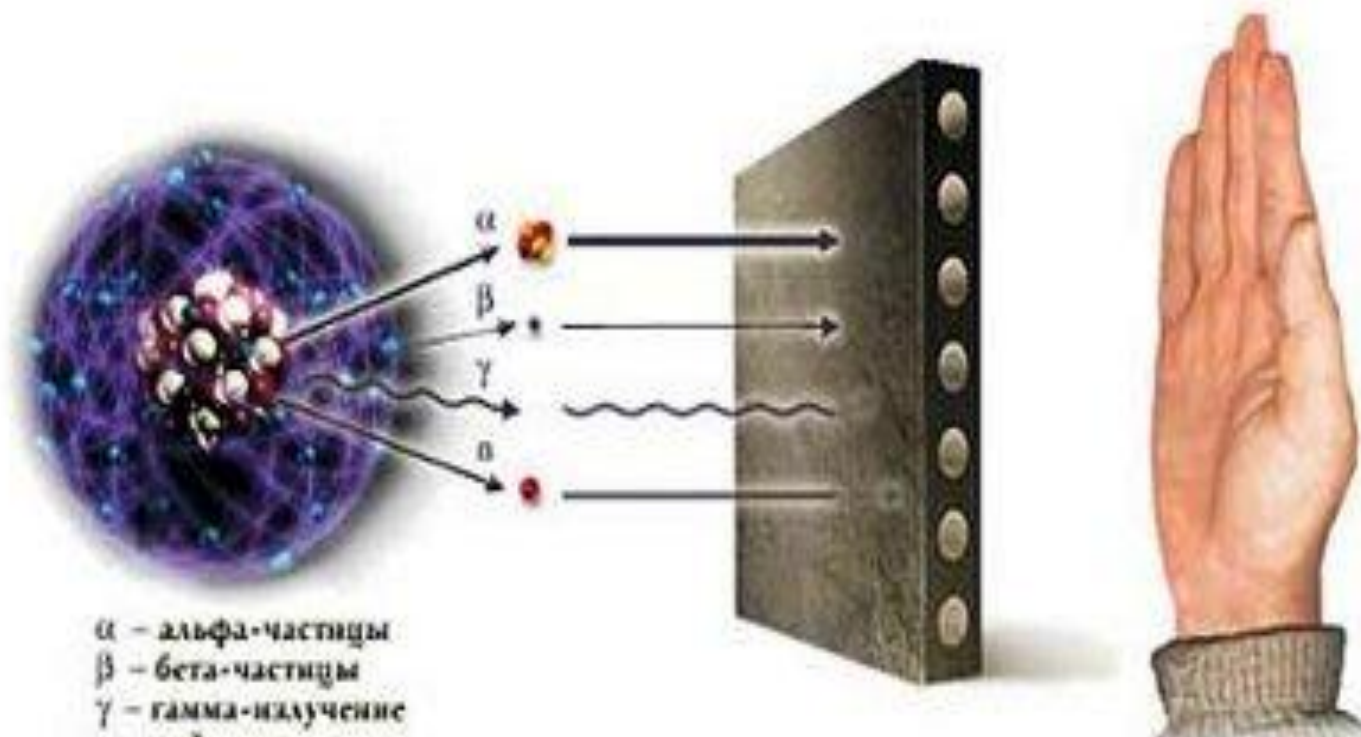
- ▶ Поток нейтронов ( $n$ ) является потоком электрически нейтральных частиц с массой  $1,009$  а.е.м., действует на протяжении доли секунды, имеет чрезвычайно высокую проникающую способность и плотность. Распространяется на сотни метров в воздухе, в тканях – на десятки сантиметров. Поскольку нейтроны являются электрически нейтральными частицами, то они легко проникают в атомы и взаимодействуют с ядром. Образуются радиоактивные изотопы, и возникает, так называемая, приведенная радиоактивность. Стабильные ядра превращаются в радиоактивные изотопы, выпуская  $\beta$ -частицы и  $\gamma$ -кванты.
- ▶ рентгеновское излучение — электро-магнитные волны, обладают значительной проникающей способностью.





$\alpha$  – альфа-частицы  
 $\beta$  – бета-частицы  
 $\gamma$  – гамма-излучение  
 $n$  – нейтроны

Бумага задерживает только  $\alpha$ -излучение



$\alpha$  – альфа-частицы  
 $\beta$  – бета-частицы  
 $\gamma$  – гамма-излучение

Бетонная плита задерживает  $\alpha$ -излучение,  $\beta$ -излучение,  $\gamma$ -излучение и нейтронное излучение

- ▶ Основное свойство ионизирующего излучения, обуславливающее его биологическое действие — способность проникать в различные ткани, клетки и субклеточные структуры.
- ▶ Одна из важнейших характеристик ИИ, определяющая его поражающие особенности — проникающая способность, т.е. глубина проникновения в биологический материал. Зависит от природы излучения, заряда и энергии частиц, состава и плотности облучаемого вещества.
- ▶ Важнейшая характеристика ионизирующих излучений — их доза.
- ▶ С её помощью определяют количество энергии, падающей на объект за период облучения (экспозиционная доза), и величину энергии излучения, переданной облучаемому веществу (поглощённая доза или доза облучения).

# ДОЗИМЕТРИЯ



- ▶ Доза - это энергия, переданная ионизирующим излучениям элементарному объему или массе облучаемого вещества. Единицей кинетической энергии в международной системе единиц является джоуль (Дж). В системе СДС энергия измеряется в эргах или электронвольтах (эВ).
- ▶ Дозиметрией называется измерение дозы или мощности радиационного излучения (т.е. дозы в единицу времени). В настоящее время различают следующие дозы радиационного облучения.

# Поглощенная доза

- ▶ Поглощенная доза – это количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное облучаемым телом (тканями организма), в перерасчете на единицу массы. Единицей СИ поглощенной дозы является джоуль на кило-грамм (Дж/кг) со специальным наименованием **грэй (Гр, Gy): 1 Гр = 1 Дж/кг.**
- ▶ В качестве внесистемной (традиционной) единицы используется **рад, равный 0,01 Гр.** Для мягких тканей человека в поле рентгеновского или гамма-излучения поглощенная доза в 1 рад примерно соответствует экспозиционной в 1 Р (точнее, 1 Р = 0,93 рад). Но эта величина не учитывает того, что при одинаковой поглощенной дозе -излучение гораздо опаснее  $\beta$  - или  $\gamma$  -излучений.



# Интегральная поглощенная доза

- ▶ При неравномерном облучении употребляется термин — интегральная поглощенная доза – средняя энергия ионизирующего излучения, поглощенная определенной массой ткани облучаемого органа, части тела – **1 Гр/кг**.
- ▶ **ПОГЛОЩЁННАЯ ДОЗА** — величина энергии ионизирующего излучения, передаваемая облучённому веществу. **Выражают в радах или греях.**
- ▶ Если принять во внимание этот факт, то дозу следует умножить на коэффициент, отражающий способность излучения данного вида повреждать ткани организма: -излучение считается в двадцать раз опаснее других видов излучений. Пересчитанную таким образом дозу называют эквивалентной дозой.

# ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА

- ▶ Эффективная эквивалентная доза – это эквивалентная доза, умноженная на коэффициент, учитывающий различную чувствительность разных тканей к облучению.
- ▶ ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА - мера выраженности эффекта облучения и равна поглощенной дозе, умноженной на коэффициент качества данного вида излучения. Ее измеряют в системе СИ в зивертах (Зв, Sv) – один зиверт соответствует поглощенной дозе в 1 Дж/кг (для рентгеновского,  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучений). Внесистемная единица – бэр, он равен 0,01 Зв. Эквивалентная доза является мерой оценки ущерба здоровью человека при действии ионизирующих излучений
- ▶ Существуют коэффициенты радиационного риска для разных тканей (органов) человека при равномерном облучении всего тела: 0,12 – красный костный мозг и легкие; 0,03 – костная ткань и щитовидная железа; 0,15 – молочная железа; 0,25 – половые железы; 0,30 – другие ткани. Эффективная эквивалентная доза отражает суммарный эффект облучения для организма и также измеряется в зивертах.
- ▶ Эти понятия описывают только индивидуально получаемые дозы. Просуммировав индивидуальные эффективные эквивалентные дозы, полученные группой людей, мы приходим к коллективной эффективной дозе, которая измеряется в человеко-зивертах (чел.-Зв).

# ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА

- ▶ Для характеристики энергии ионизирующего излучения используют так называемую экспозиционную дозу. Экспозиционная доза – это общий электрический заряд ионов одного знака, образованных в воздухе за время облучения (величина ионизации, создаваемой рентген- или гамма-излучениями). Единицей экспозиционной дозы в системе СИ является кулон на килограмм (Кл/кг, C/kg), внесистемной – рентген (Р, R),  $1\text{P} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ ,  $1 \text{ Кл/кг} = 3,786 \cdot 10^3 \text{P}$
- ▶ Часто пользуются понятием мощность экспозиционной дозы. Это величина выражается в мР/ч или мкР/ч.



- ▶ Несистемные единицы соотносятся с единицами СИ следующим образом:
- ▶ • кюри (Ки, Ci) – единица активности изотопа,  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ ;
- ▶ • рад (рад, rad) – единица поглощенной дозы излучения,  $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$ ;
- ▶ • бэр (бэр, rem) – единица эквивалентной дозы,  $1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$

# Относительная биологическая эффективность (ОБЭ)

Относительная биологическая эффективность (ОБЭ) — показатель, используемый для сравнения биологического действия различных видов ионизирующего излучения.

- Количественная оценка ОБЭ — её коэффициент (КОБЭ):
- отношение дозы данного и «стандартного» (рентгеновского) излучения, обладающих равным биологическим эффектом при одинаковой поглощённой дозе.
- Увеличение ОБЭ, т.е. повышение поражаемости клеток и угнетение их способности к восстановлению, отмечают при возрастании ЛПЭ излучений до определённой пороговой величины (100-120 кэВ).
- При дальнейшем повышении ЛПЭ относительная биологическая эффективность излучений быстро снижается, так как избыток энергии расходуется «вхолостую», поглощаясь в уже поражённых структурах клетки.
- Величина ОБЭ зависит не только от вида излучения и его ЛПЭ, но и от избранного критерия оценки тяжести лучевого поражения и условий действия радиации (величина и мощность дозы, наличие или отсутствие кислорода и т.д.).

Величина  
биологи-  
ческого  
эффекта  
радиации  
зависит  
от:

- проникающей способности
- количества поглощённой энергии
- особенности её пространственного распределения в тканях биообъектов - плотности ионизации
- времени

# СТАДИИ ДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЙ ОБЪЕКТ

**ФИЗИЧЕСКАЯ**

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ**

**ХИМИЧЕСКАЯ**

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ**

# ФИЗИЧЕСКАЯ СТАДИЯ

поглощение энергии излучения облучаемой средой с возбуждением и ионизацией её молекул.

Длительность  $10^{-16}$  с



# ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ СТАДИЯ

поглощенная энергия перераспределяется между возбужденными и ионизированными молекулами, разрушая химические связи, а в микроокружении появляются новые ионы и свободные радикалы. На процессы радиолитического распада расходуется до 30% поглощенной энергии. Помимо воды, радиолитическому распаду подвержены молекулы биологических веществ клетки — фосфолипиды, ДНК, белки, что ведет к возникновению органических радикалов, также обладающих неспаренными электронами и, следовательно, чрезвычайно реакционноспособных.



# ХИМИЧЕСКАЯ СТАДИЯ



- ▶ Свободные радикалы вступают в химические реакции между собой и с другими молекулами. Образуются— супероксидный анион, гидропероксид, пероксид водорода, атомарный и синглетный кислород— сильные окислители органических веществ.
- ▶ При воздействии продуктов радиолиза воды на аминокислоты, белки, углеводы, нуклеотиды, фосфолипиды, ДНК образуются органические свободные радикалы.

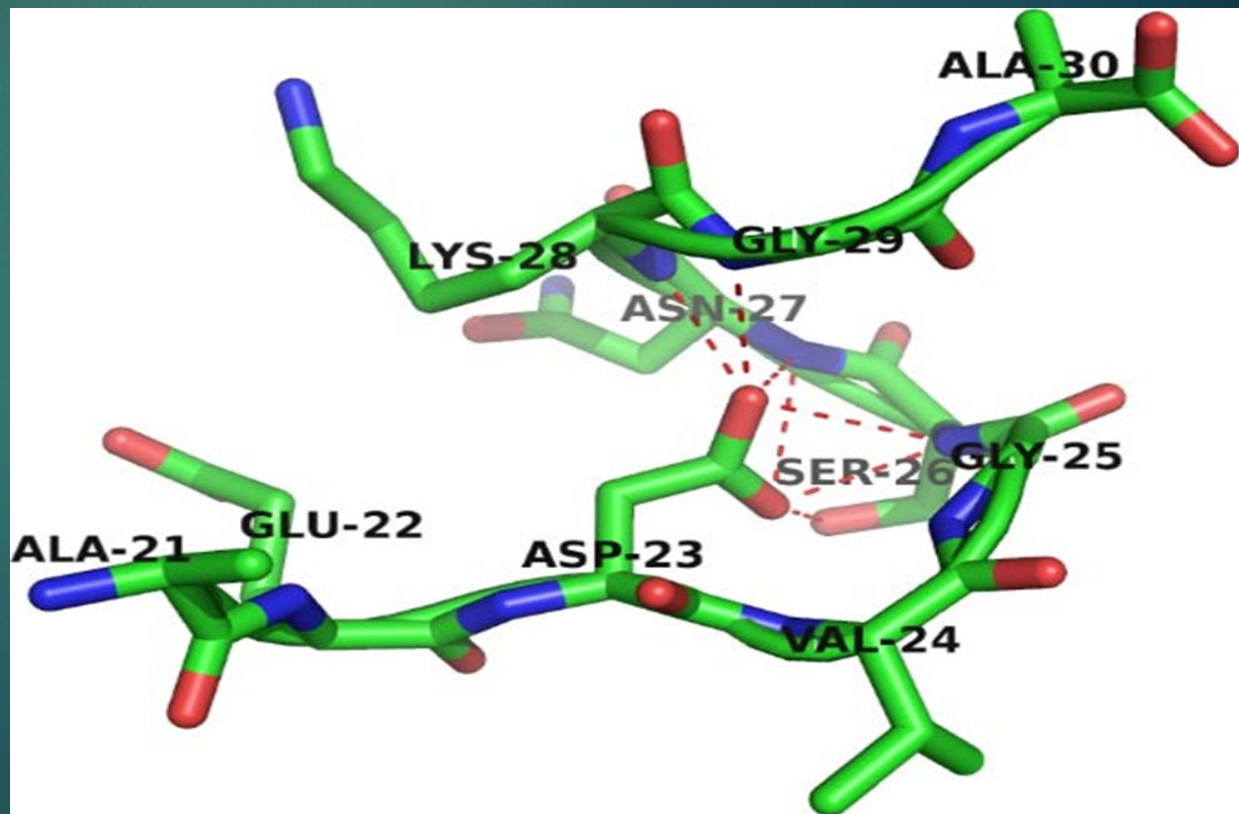
# ПОВРЕЖДЕНИЯ ДНК:

- ▶ нарушение структуры азотистых оснований
- ▶ появление одно- и двунитевых разрывов ДНК
- ▶ сшивок ДНК—ДНК и ДНК—белок
- ▶ нарушений комплексов ДНК с другими молекулами
- ▶ Большая часть поглощённой энергии ионизации расходуется на разрушение структуры оснований ДНК, около 10-20% — на разрыв её сахаро-фосфатного остова.



# ХИМИЧЕСКАЯ СТАДИЯ

- ▶ Нарушения структуры белков: разрывы дисульфидных мостиков, водородных связей, пептидной цепи, образование сшивок между пептидными цепями.



# БИОЛОГИЧЕСКАЯ СТАДИЯ

- ▶ Формирование повреждений на клеточном, тканевом, органном и организменном уровнях, формирование отдаленных последствий облучения. Длительность этой стадии - часы, недели, годы – сотни лет...

# Радиочувствительность

- ▶ Радиочувствительность – это чувствительность биологических объектов к действию ионизирующих излучений. Различные виды живых организмов существенно различаются по своей радиочувствительности. Выявлена общая закономерность: чем сложнее организм, тем он более чувствителен к действию радиации.

# Радиочувствительность



# Опасность радиации

## Однократное воздействие гамма-излучения, зВ

## Симптомы

100

смерть наступает через несколько часов или дней вследствие повреждения центральной нервной системы

10-50

смерть наступает через одну—две недели вследствие внутренних кровоизлияний

4-5

50% облученных умирает в течение одного—двух месяцев вследствие поражения клеток костного мозга

1

нижний уровень развития лучевой болезни

0,75

кратковременные незначительные изменения состава крови

0,3

облучение при рентгеноскопии желудка (разовое)

0,25

допустимое аварийное облучение персонала (разовое)

0,1

допустимое аварийное облучение населения (разовое)

0,05

допустимое облучение персонала в нормальных условиях за год

0,005

допустимое облучение населения в нормальных условиях за год





СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!