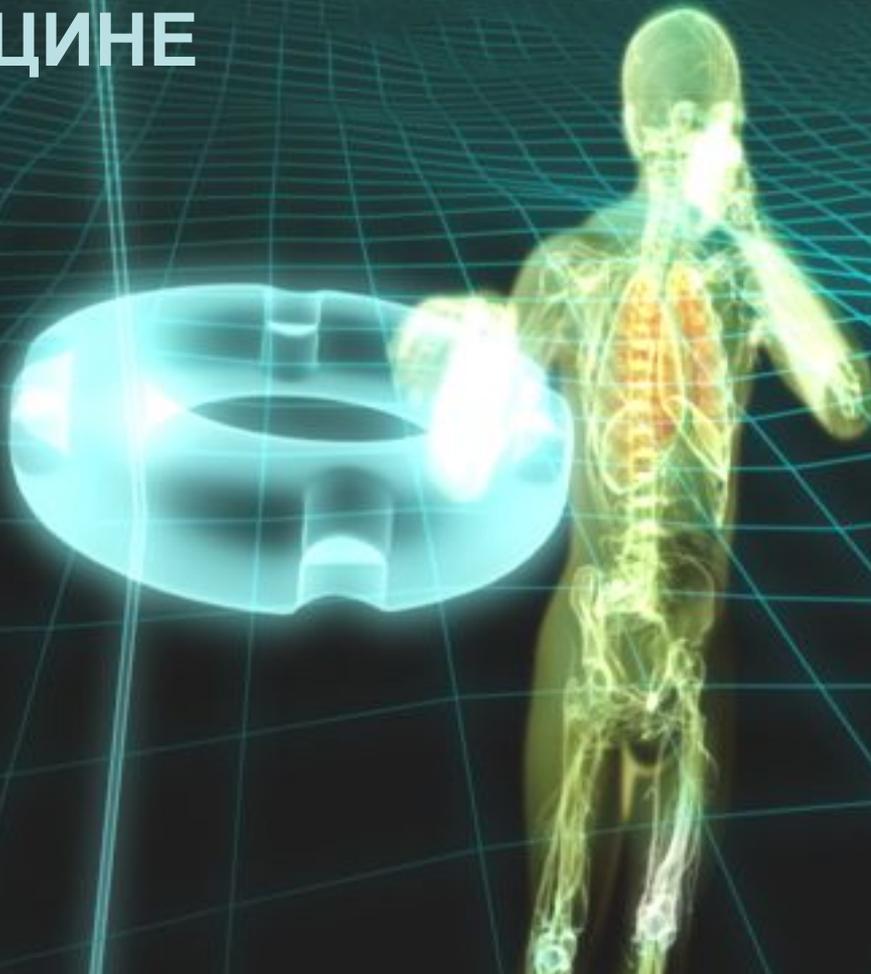




# РАДИОАКТИВНОСТ Ь ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МЕДИЦИНЕ

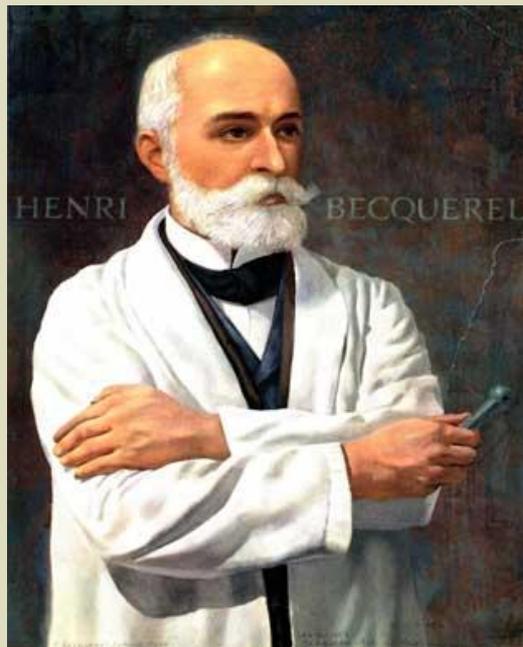


# ПОНЯТИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

Радиоактивность – это свойство атомных ядер самопроизвольно распадаться с образованием других ядер и элементарных частиц (радиоактивных излучений).

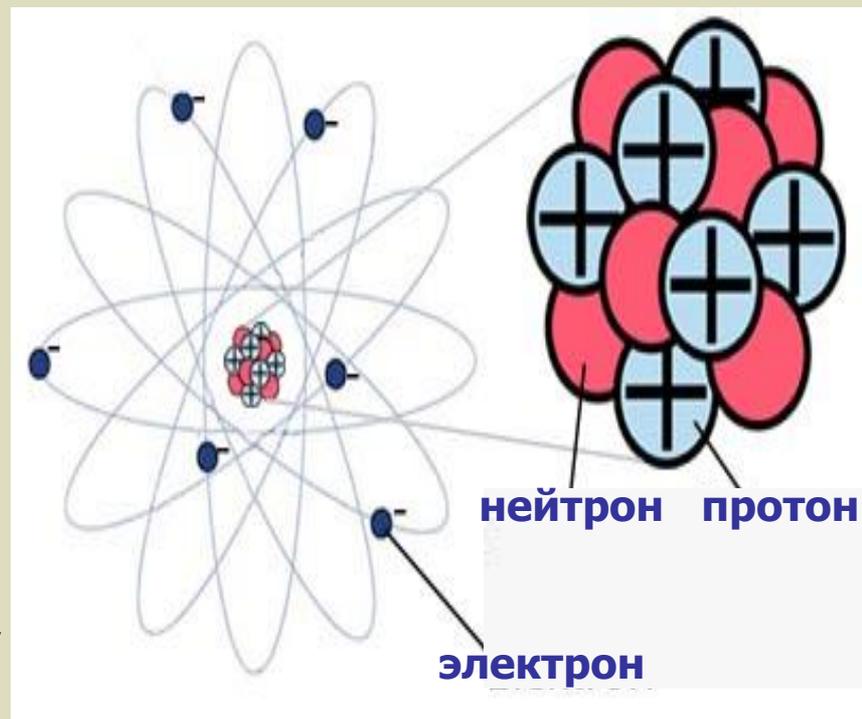
В 1896 г. французский физик **Беккерель** открыл радиоактивность солей урана.

Через несколько лет подобные свойства были обнаружены у тория, затем у полония и радия **Мари и Пьером Кюри**, а в дальнейшем у всех химических элементов, атомные номера которых **больше 83**.



Механизм радиоактивности был раскрыт после того, как Резерфорд предложил **планетарную модель атома**:

1. Есть ядро, состоящее из протонов и нейтронов (нуклонов). Протоны (+) и нейтроны удерживаются вместе ядерными силами.
2. Вокруг ядра вращаются электроны (-).
3. Число протонов = числу электронов. Атом, в целом, электронейтрален.



# СТРОЕНИЕ АТОМА

$$A = Z + N$$



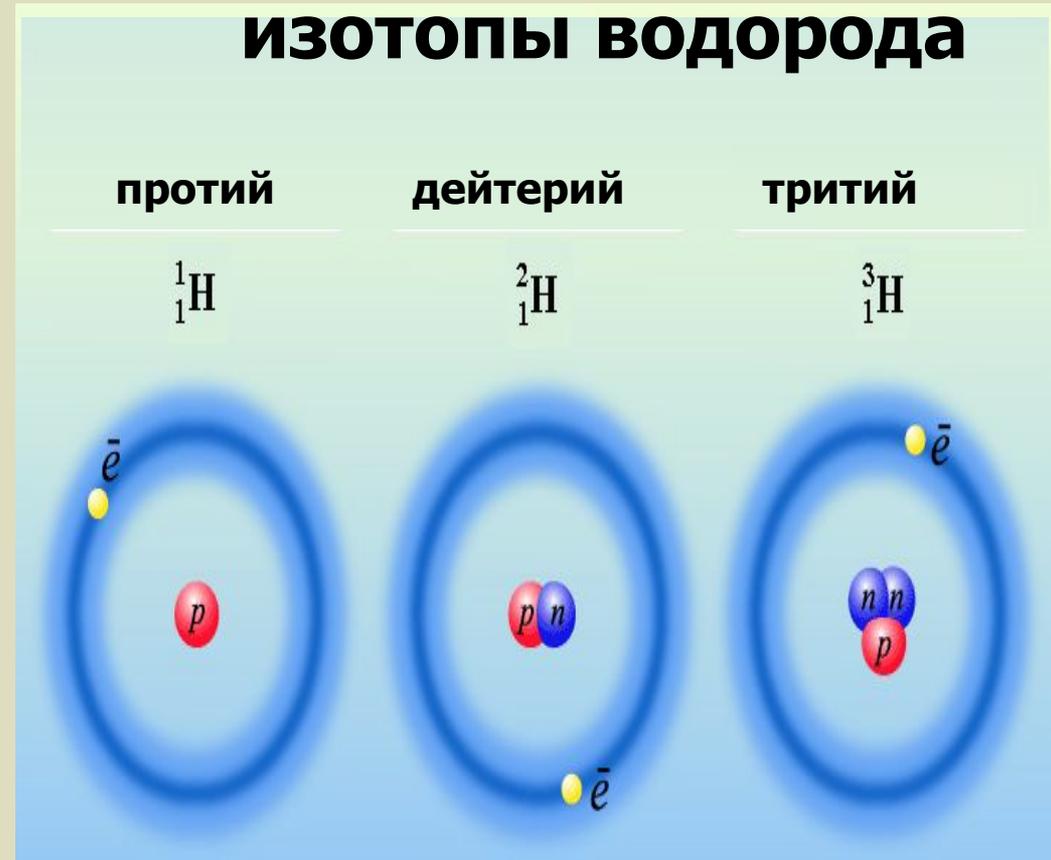
1. **Атомный номер** (зарядовое число  $Z$ ) равен числу протонов. Он равен порядковому номеру элемента в таблице Менделеева.
2. **Массовое число** ( $A$ ) равно сумме числа протонов и нейтронов, т.к. масса атома сосредоточена практически полностью в ядре.
3. **Число нейтронов** находят как разность массового и зарядового чисел:  
$$N = A - Z.$$

**Изотопы** – атомы одного и того же химического элемента (одинаковое зарядовое число), но с **разным числом нейтронов**.

У большинства химических элементов имеется несколько изотопов. В среднем, каждый химический элемент имеет 3 стабильных изотопа и еще по несколько нестабильных (Т.е существуют радиоактивные изотопы и «лёгких» элементов).

**Химические свойства атома** зависят только от строения электронной оболочки - все изотопы одного элемента обладают сходными химическими свойствами.

Это служит причиной того, что в составе биологических молекул и сред включены изотопы, в том числе радиоактивные, тех или иных элементов (например, калия, углерода и т.д.)



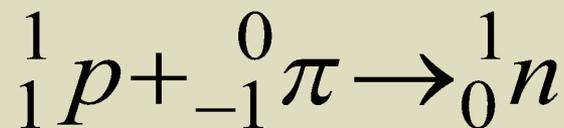
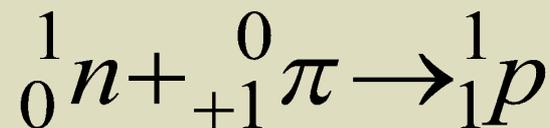
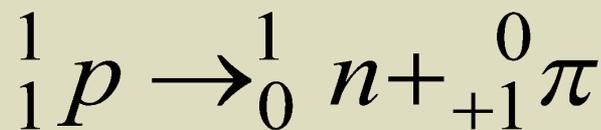
# ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ

- силы, удерживающие нуклоны в ядре.

Ядерные силы (сильные взаимодействия):

1. Не имеют электрической, магнитной или гравитационной природы.
2. Являются силами притяжения.
3. Короткодействующие: заметно проявляются, лишь на расстояниях порядка размеров ядра.
4. Им свойственна зарядовая независимость: силы взаимодействия протон-протон, протон-нейтрон, нейтрон-нейтрон одинаковы по величине.
5. Для них свойственно насыщение – каждый нуклон взаимодействует с ограниченным числом ближайших к нему нуклонов.

**Для объяснения природы ядерных сил японский ученый Хидеки Юкава в 1935 году предложил модель (она вскоре была подтверждена экспериментально), в которой притяжение нейтронов и протонов обеспечивается постоянным обменом между ними частицами, которые назвали пи-мезонами. Они бывают положительно, отрицательно заряжены, нейтральны. Очень нестабильны.**



# ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ

- энергия, которую необходимо затратить, чтобы расщепить ядро на составляющие его нуклоны.

Сумма масс отдельных нуклонов больше, чем их суммарная масса в ядре. Такое явление носит название **дефект массы**. Поскольку всякому изменению массы соответствует изменение энергии, то при образовании ядра – она выделяется, а для расщепления ядра её нужно потратить. Количество такой энергии характеризует энергия связи.

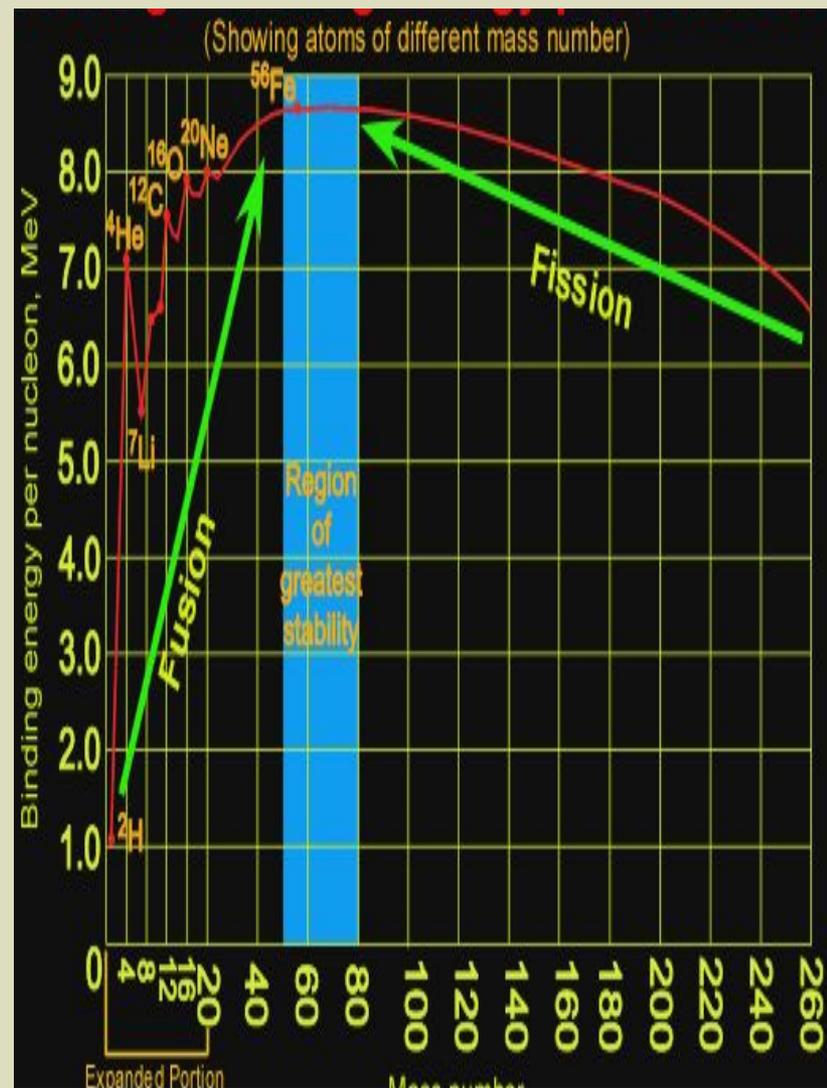
**Удельная энергия** (энергия, делённая на число нуклонов) ядер с массовым числом меньше 12 круто нарастает до 6-7 МэВ, претерпевает несколько скачков и достигает максимума у ядер массой 50-80 (8,7 МэВ), а потом постепенно уменьшается у тяжёлых элементов.

На рисунке – **удельная энергия связи всех известных элементов**. Видно, что наибольшее значение этой энергии имеют ядра элементов средней части таблицы Менделеева (**голубая зона**). Это означает, что именно они являются наиболее устойчивыми с энергетической точки зрения.

Отсюда существуют **две возможности получения энергии** при ядерных превращениях:

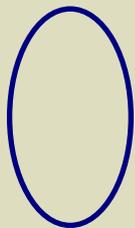
- 1. деление тяжелых ядер на более легкие.** В настоящее время в ядерной энергетике в управляемом режиме практически осуществляется только реакция деления урана (U - 235).;
- 2. слияние легких ядер в более тяжелые.**

Среди реакций синтеза (термоядерная реакция) удалось осуществить только неуправляемую реакцию синтеза в водородной бомбе. Термоядерные реакции играют чрезвычайно важную роль в эволюции Вселенной, т.к. энергия излучения Солнца и звезд имеет термоядерное происхождение.



Радиоактивный распад ядер обусловлен нарастанием сил отталкивания между протонами при увеличении их числа, а также избытком или недостатком нейтронов в ядре (тип распада зависит от соотношения нейтронов и протонов).

Нестабильные ядра испытывают распад до тех пор, пока не превратятся в стабильные. Ядро первого элемента (на рис. уран, 238) – материнское, каждое последующее – дочернее. Стабильное ядро - свинец, 206. Все элементы, в которые превращается материнское ядро до стабильного элемента – радиоактивный ряд (семейство).



# ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Число нераспавшихся ядер убывает по экспоненциальному закону.

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

$N$  – число нераспавшихся ядер

$N_0$  – исходное число ядер

$\lambda$  – постоянная распада (табличная величина. Для каждого радиоактивного элемента величина, обратная времени жизни ядра  $\tau$  )

**Период полураспада** – время, за которое распадается половина радиоактивных ядер.

Чем меньше период полураспада, тем интенсивнее протекает распад.

Так, для урана  $T \approx 4,5$  миллиарда лет, а для радия  $T \approx 1600$  лет.

Существуют радиоактивные элементы с периодом полураспада в доли секунды. Короткоживущие и ультракороткоживущие изотопы применяют в медицине в диагностических целях.

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$$\frac{1}{T_{\text{биол}}} = \frac{1}{T_{\text{физ}}} + \frac{1}{T_{\text{выд}}}$$

исходное количество ядер

0

осталась  
**1/2** часть

T

осталась  
**1/4** часть

2T

осталась  
**1/8** часть

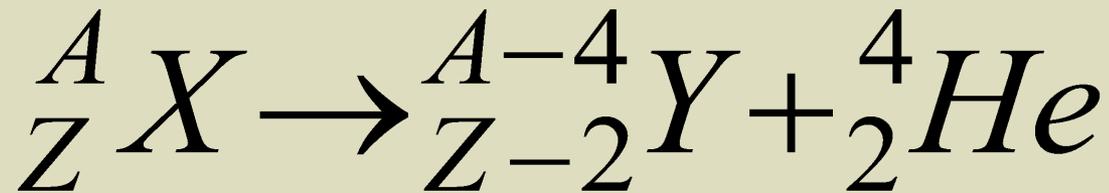
3T

осталась  
**1/16** часть

4T

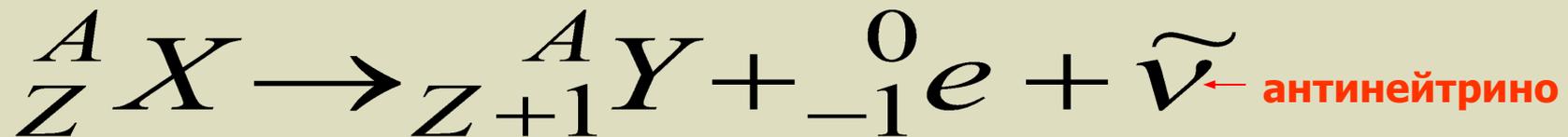
# ВИДЫ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

**1. Альфа-распад** - самопроизвольное превращение атомного ядра с числом протонов  $Z$  и нейтронов  $N$  в другое ядро, содержащее число протонов  $Z - 2$  и нейтронов  $N - 2$ . При этом испускается  **$\alpha$ -частица** – ядро атома гелия. В связи с этим, массовое число  $A$  уменьшается на четыре единицы, а зарядовое число  $Z$  уменьшается на две единицы. *Примером такого процесса может служить  $\alpha$ -распад урана-234.*

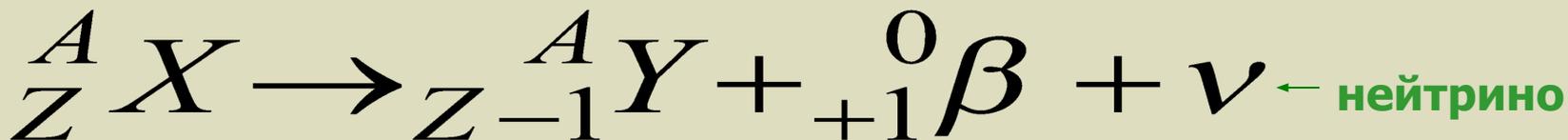


**2. При Бета-распаде** ядро испускает электрон или позитрон. Внутри ядер электроны и позитроны не существуют, но они возникают в результате превращения А. нейтрона в протон и электрон или Б. протона в нейтрон и позитрон.

А). При **электронном  $\beta$ -распаде** зарядовое число  $Z$  увеличивается на единицу, а массовое число  $A$  остается неизменным.



Б). При **позитронном  $\beta$ -распаде** зарядовое число  $Z$  уменьшается на единицу, а массовое число  $A$  остается неизменным.



В). **Электронный захват** обусловлен захватом электрона из электронной оболочки протоном ( $p + e = n$ ).



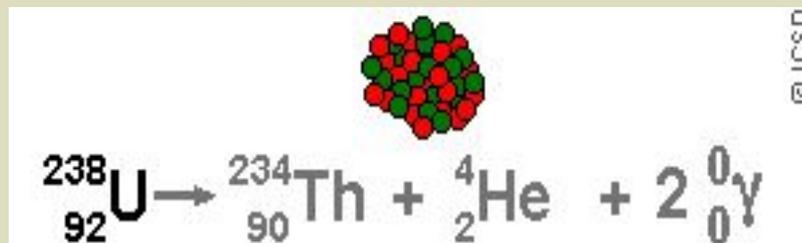
Квант характеристического  
рентгеновского излучения

**Образующиеся при радиоактивных распадах частицы обладают большой энергией и формируют соответствующие типы излучений:**

- **Альфа излучение имеет линейчатый спектр, так как все частицы имеют одинаковую энергию.**
- **Бета – излучение имеет сплошной спектр, так как энергия радиоактивного распада в случайном соотношении распределяется между бета-частицей и нейтрино (антинейтрино) бета-частицы имеют разную энергию.**

### 3. Образование **гамма-излучения:**

**А. возбуждённым ядром.** Гамма-радиоактивность ядер не связана с изменением его внутренней структуры и не сопровождается изменением зарядового и массового чисел. Ядро может оказаться в возбуждённом состоянии и иметь избыток энергии. Переход ядра из возбуждённого состояния в невозбуждённое сопровождается испусканием одного или нескольких  $\gamma$ -квантов, энергия которых может достигать нескольких МэВ. Гамма-излучение может быть, как самостоятельным процессом, так и сопровождать альфа- и бета- распады.



**Б. аннигиляция античастиц.** Античастицы – это частицы с противоположными свойствами (нейтрино-антинейтрино, электрон-позитрон). При взаимодействии античастиц происходит их взаимоуничтожение (аннигиляция) и образуются 2 кванта гамма-излучения (в соответствии с положением Эйнштейна об эквивалентности массы и энергии).

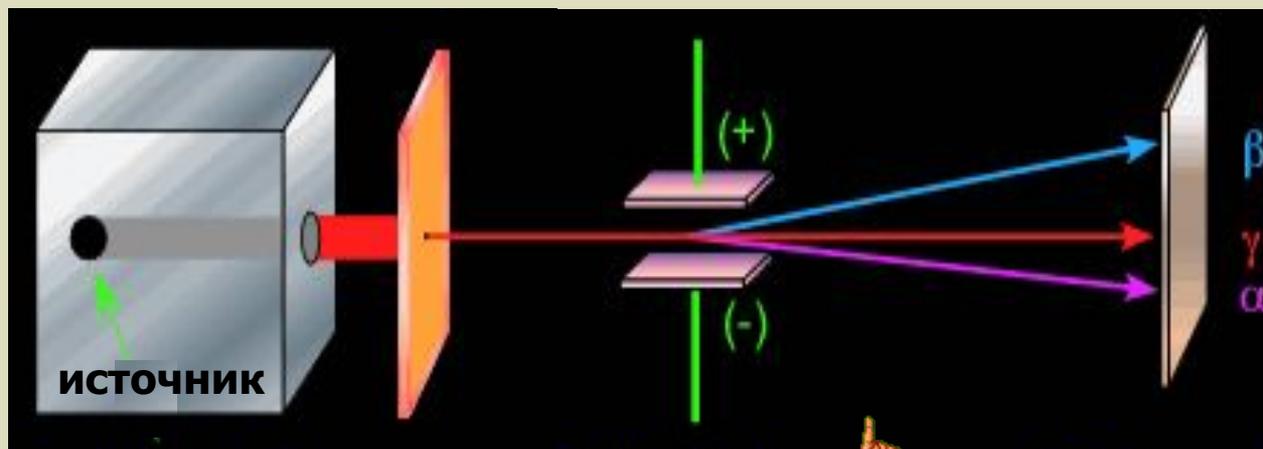
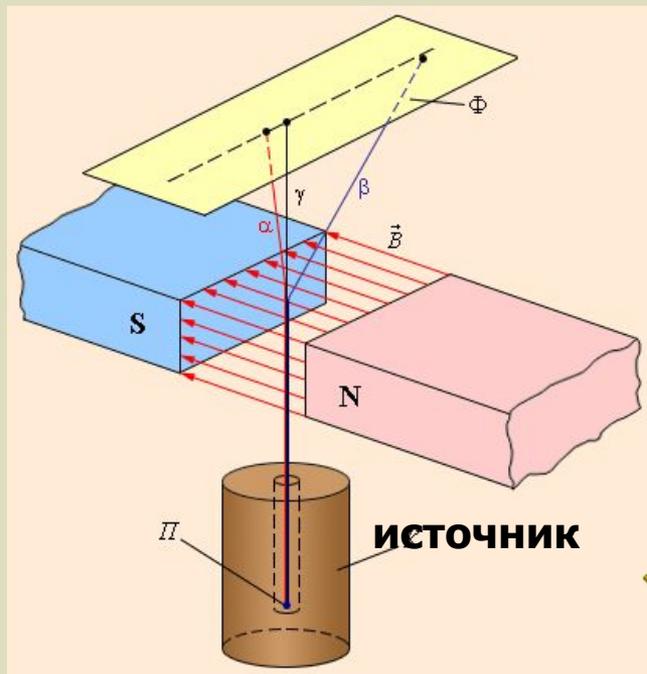
$${}_{-1}^0e + {}_{+1}^0p = 2\gamma$$

# ТИПЫ ИЗЛУЧЕНИЙ

Ещё **Резерфордом** было установлено, что радиоактивные излучения бывает трёх видов:

1. положительно заряженные лучи (альфа-излучение),
2. отрицательно заряженные лучи (бета-излучение) и
3. незаряженные лучи ( $\gamma$ -излучение).

Обнаружить сложный состав радиоактивного излучения возможно, пропуская его через **магнитное** или **электрическое** поле. При этом противоположно заряженные альфа и бета-лучи испытывают отклонения в разные стороны, причем  $\beta$ -лучи отклоняются значительно больше, а гамма-лучи в обоих полях не отклоняются.



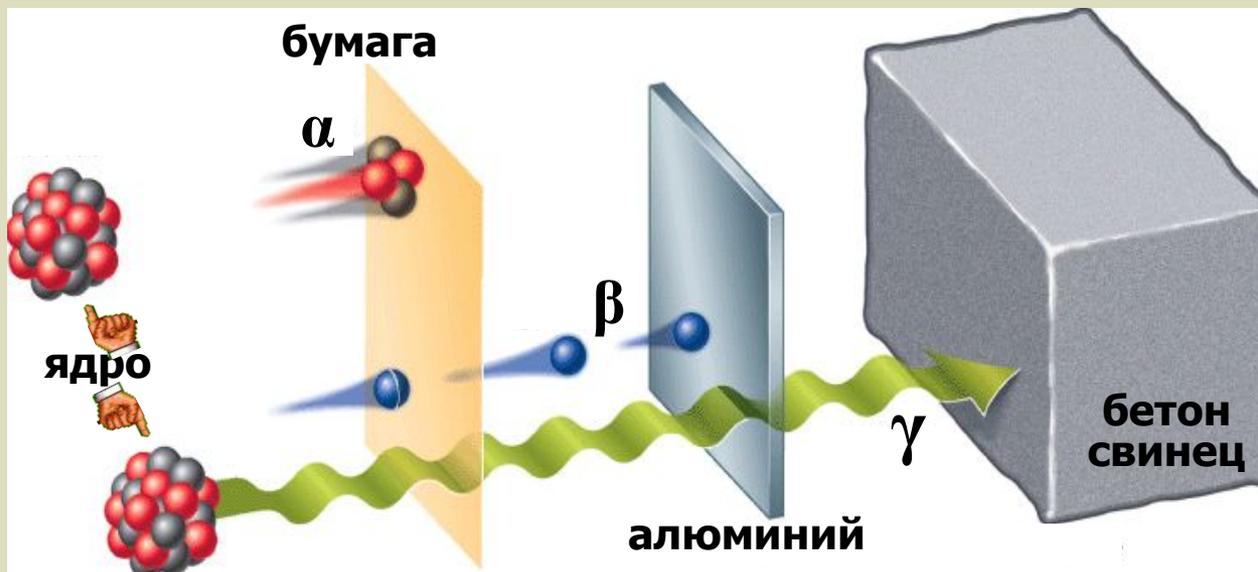
 **магнитное поле**

 **электрическое поле**

# СВОЙСТВА ИЗЛУЧЕНИЙ

**1. Проникающая способность.** Её характеризует **длина пробега** – путь, которой проходят радиоактивные частицы до полной остановки.

Наименьшей проникающей способностью обладает  $\alpha$ -излучение: в воздухе альфа-лучи проходят путь в несколько сантиметров и поглощаются тонкой бумагой.  $\beta$ -лучи гораздо меньше поглощаются веществом. Они способны пройти через слой алюминия толщиной в несколько миллиметров. Наибольшей проникающей способностью обладают  $\gamma$ -лучи, способные проходить через слой свинца толщиной 5–10 см.



**2. Ионизирующая способность,** наоборот, наибольшая у альфа-лучей и наименьшая – у гамма-излучения. Её характеризует **линейная плотность ионизации** – число пар ионов, которые образует радиоактивное излучение на единицу длины пробега.

# МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЙ С ВЕЩЕСТВОМ

- 1. Электромагнитные волны (гамма- и рентгеновское излучения) взаимодействуют с веществом тремя основными путями: 1. когерентное рассеяние 2. фотоэффект и 3. некогерентное рассеяние (Комптон-эффект).** (В 2 последних случаях – ионизация, для них нужно, чтобы квант излучения поглотился атомом).
- 2. Корпускулярные излучения (альфа-, бета-частицы) передают энергию частицам вещества путём:**
  - **упругого рассеяния (1/10 часть энергии).** Результат взаимодействия заряженных частиц с положительно заряженным ядром, в результате чего их траектория меняется, а кинетическая энергия остаётся постоянной.
  - **неупругого рассеяния ( большая часть оставшейся энергии излучения).** Кинетическая энергия частиц расходуется на возбуждение (2/3 части) и на ионизацию (1/3) атомов вещества в результате отрыва электронов с разных орбиталей.

Поглощение кванта при прохождении его через вещество – процесс менее вероятный, чем взаимодействие частиц с атомами. В результате ионизацию ЭМВ вызывают меньшую (малая ион. способность) и энергию расходуют медленнее (большая проник.способность), чем заряженные частицы.

# ВНУТРЕННЕЕ И ВНЕШНЕЕ ОБЛУЧЕНИЕ

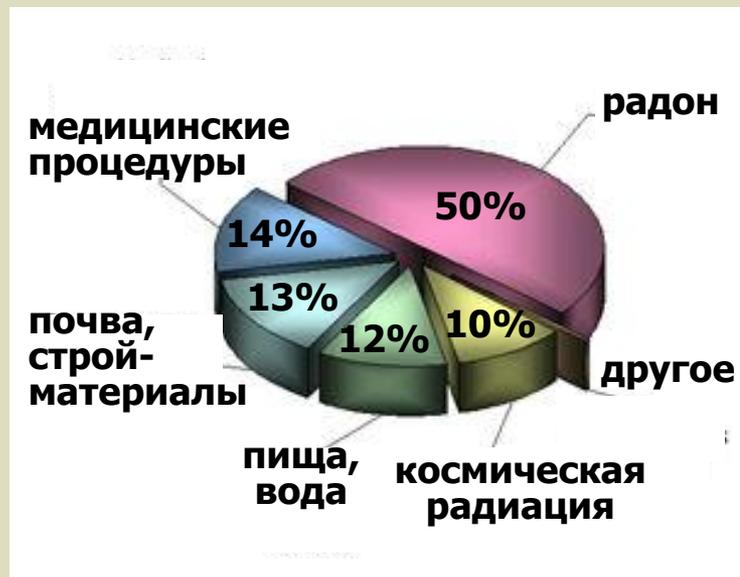
Человек подвергается облучению двумя способами:

1. Если радиация действует снаружи, то это **внешнее облучение**. Внешнее облучение связано главным образом с космической радиацией, радиацией от почвы и строительных материалов (природные источники), а также с медицинскими процедурами.

2. Если же радиоактивные вещества, находящиеся в воздухе, пище, воде и попадают с ними внутрь организма, говорят о **внутреннем облучении**.

Особую опасность в этом плане представляет бесцветный не имеющий запаха газ радон-222, который является промежуточным продуктом распада урана-238 и может в значительных количествах накапливаться в закрытых помещениях.

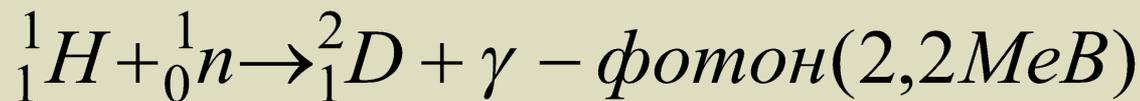
Наибольшую опасность при внешнем облучении представляют  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения, а при внутреннем облучении –  $\alpha$ -излучение.



# МЕХАНИЗМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕЙТРОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ

Нейтроны не имеют заряда – поэтому легко минуют электронные оболочки атомов и взаимодействуют с их ядрами путём:

- **упругого соударения.** Нейтрон передаёт всю свою энергию ядру водорода (чаще всего в биологических тканях, так как много воды) или других атомов (азот, кислород, углерод); кинетическая энергия атомов возрастает – они приобретают свойства заряженных частиц высоких энергий (**ядра отдачи**), которые вызывают ионизацию других атомов в составе вещества.
- **участие нейтронов в ядерных реакциях.** Нейтрон может передавать энергию ядру, в результате которого оно приходит в возбуждённое состояние с последующим излучением гамма-квантов или образованием заряженных частиц высоких энергий. **Наиболее значимые ядерные реакции в живой клетке:**



# БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Биологическое действие связано с процессами **возбуждения** и **ионизации** атомов и молекул, входящих в состав живых клеток. Поэтому радиоактивные излучения называют **ионизирующими**.

Ионизирующие излучения обладают высокой биологической эффективностью: количество энергии, передаваемой объекту излучениями, очень мало, а биологический эффект очень сильный: летальная их доза вызывает нагревание ткани на тысячные доли градуса. Это явление носит название **биологический парадокс**.

## Предлагают 2 его механизма:

**Радиолиз воды** (как основного по количеству вещества в организме) – возбуждение и ионизация её молекул, в результате которого образуются свободные радикалы, ионы, вступающие в реакции друг с другом и с другими веществами. Это нарушает течение биохимических реакций вызывает образование токсических соединений (например, перекиси).

**Радиолиз биологически важных молекул** – ДНК, белков, липидов мембран и т.д. Результат – морфологические и информационные повреждения клетки.

Радиолиз – это возбуждение и ионизация молекул вещества под действием радиоактивных излучений с последующим преобразованием таких молекул.

# ОБЩАЯ СХЕМА РАЗВИТИЯ РАДИОБИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

поглощение энергии излучений атомами



радиолиз молекул, химические и биохимические реакции



структурные и функциональные нарушения на уровнях:

- **субклеточном** (повреждение хромосом, ядра в целом, которое в наибольшей степени чувствительно к радиации, цитоплазмы (в меньшей мере), митохондрий. Очень чувствительны мембраны);
- **клеточном** (торможение или утрата клеткой способности к делению из-за повреждения генетического аппарата, нарушение обмена веществ, гибель клетки.)
- **органном** (различная чувствительность)
- **организменном** (лучевая болезнь, сокращение продолжительности жизни, отдалённые последствия облучения – онкология не только у облучённого, но и в последующих поколениях, тератогенное действие на плод).

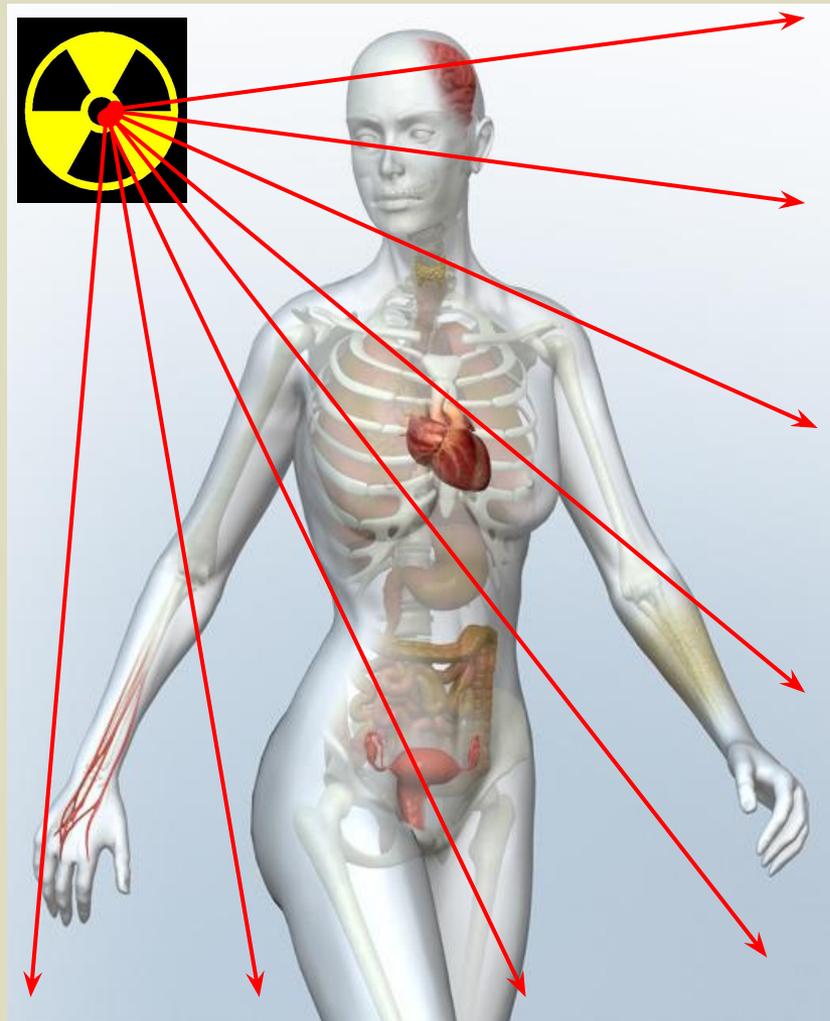
Наиболее важны  
генетические  
эффекты  
радиации.

Принцип  
Трибондо-  
Бергонье:

наиболее  
чувствительны к  
повреждению  
радиацией клетки,  
обладающие  
наибольшей  
пролиферативной  
активностью  
(эпителий  
кишечника,  
клетки красного  
костного мозга).

# ФАКТОРЫ, ОТ КОТОРЫХ ЗАВИСИТ СТЕПЕНЬ ПОРАЖЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩИМИ ИЗЛУЧЕНИЯМИ

- 1. ДОЗА – основной фактор, определяющий степень поражения организма.**
- 2. Мощность дозы – это доза, полученная в единицу времени. Одну и ту же дозу лучше получить постепенно (порциями, или фракциями), так как в организме процессы повреждения сопровождаются процессами восстановления (репарации).** В медицине при лечении онкологии используют **фракционирование дозы** – облучают опухоль суммарной дозой до 70 Гр (полулетальная для человека 4 Гр) много раз (фракциями), чтобы в здоровых тканях успели пройти процессы репарации.
- 3. Вида облучения (внешнее или внутреннее) и типа ионизирующего излучения. 4. Видовая специфичность, половая (самцы чувствительнее), индивидуальная. 5. Органная специфичность. 6. Возрастной фактор.**
- 4. Влияние радиомодифицирующих агентов – веществ, которые увеличивают или уменьшают степень лучевого поражения.**



**«Коэффициент радиационного риска" для органов** (если за 1 принять риск облучения для всего организма) имеет следующие значения:  
красный костный мозг - 0,12  
костная ткань – 0,03  
молочная железа – 0,15  
щитовидная железа - 0,05  
лёгкие - 0,12  
желудок – 0,12  
толстый кишечник – 0,12  
гонады (яичники, семенники) - 0,20  
кожа - 0,01 и т.д.

**Неодинакова чувствительность различных возрастных групп:** плод в утробе матерей и дети, у которых процессы деления клеток интенсивны очень чувствительны к радиации.

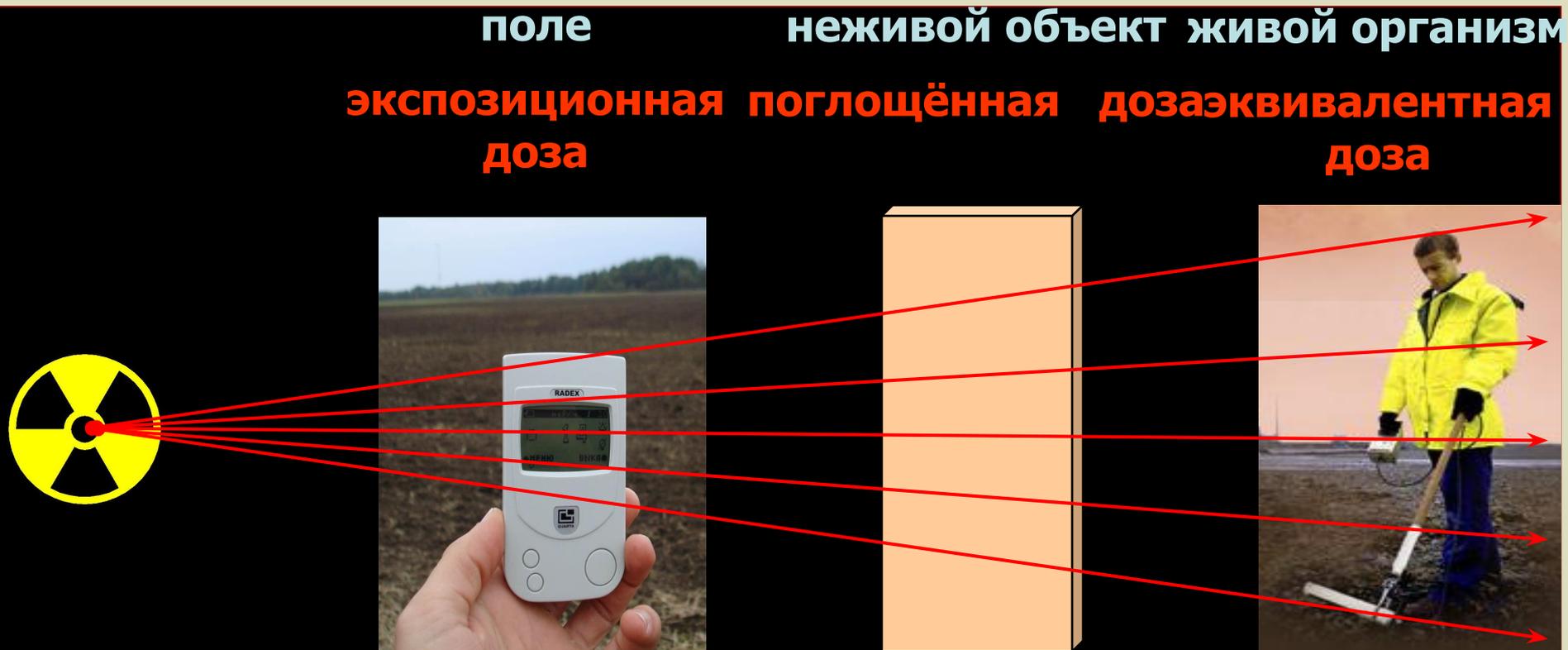
**Пожилые люди также чувствительны** вследствие того, что у них сниженный адаптационный потенциал. В организме процессы повреждения стимулируют процессы восстановления (репарации). От эффективности последних зависит конечный эффект радиационного воздействия).

# ДОЗИМЕТРИЯ

– это область прикладной ядерной физики, изучающая физические величины, характеризующие влияние ионизирующих излучений на различные объекты, а также методы и приборы для их измерения.

Система дозиметрических величин включает в себя характеристики:

1. источника радиации,
2. поля, которое он создаёт,
3. действия радиации
- на неживые и 4. живые объекты.



# ОСНОВНЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1. **Активность радионуклида** – число распадов в единицу времени (т.е. скорость распада).

Единицей измерения служит **Беккерель (Бк)**. 1 Бк = 1 распад/секунда.

Внесистемная единица - **Кюри (Ки)**.  $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$

2. **Экспозиционная доза** – это отношение суммарного заряда  **$dQ$**  всех ионов одного знака, которые образовались в элементарном объёме воздуха, к его массе  **$dm$** :

$$D_{\text{экс}} = \frac{dQ}{dm} \quad \left[ \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \right]$$

1 Кл/кг – это экспозиционная доза рентгеновских или гамма лучей, которые образуют в единице массы воздуха  $6,24 \cdot 10^{24}$  пар ионов.

Внесистемная единица – **Рентген**.  $\left[ 1 \text{ Рентген} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}} \right]$

**3. Поглощённая доза** – количество энергии ионизирующего излучения, поглощенное единицей массы какого-либо физического тела (например, тканями организма).

$$D_{\text{погл}} = \frac{dE}{dm}$$

Единицей измерения служит **Грей**.

$$\left[ 1 \text{ Грей} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right]$$

Внесистемной - **Рад** .  $[1 \text{ Грей} = 100 \text{ Рад}]$

*Для мягких тканей поглощённая доза в Радах равна экспозиционной дозе в Рентгенах.*

**4. Эквивалентная (биологическая) доза** - поглощенная доза, умноженная на коэффициент качества (КК) излучения, учитывающий неодинаковую опасность разных видов ионизирующего излучения для биологических объектов при одной и той же поглощённой дозе.

$$D_{\text{экв}} = \text{КК} \cdot D_{\text{погл}}$$

Единицей измерения служит **Зиверт**.

Внесистемной – **Бэр** (биологический эквивалент Рентгена) .

# КОЭФФИЦИЕНТ КАЧЕСТВА ИЗЛУЧЕНИЯ

**Коэффициент качества излучений (КК)** - эмпирически найденный коэффициент, характеризующий относительную биологическую эффективность того или иного вида ионизирующего излучения. Его находят, сравнивая биологические эффекты одних и тех же доз разных излучений с эффектом той же дозы рентгеновского излучения.

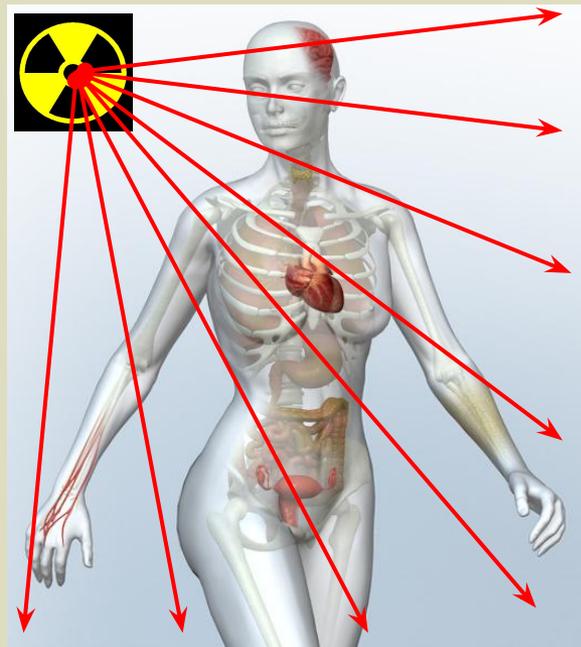
Приняты такие значения КК:

**1** - для рентгеновского, гамма-, бета-излучения,

**5** - для протонов с энергией более 2 Мэв, нейтронов с энергией менее 10 кэв,

**10** - нейтронов с энергией от 10 кэв до 100 кэв,

**20** - для альфа-частиц.



Эффективная эквивалентная доза - эквивалентная доза, рассчитанная с учётом чувствительности различных тканей организма к облучению. Она равна эквивалентной дозе, полученной конкретным органом, тканью, умноженной на соответствующий "коэффициент радиационного риска".

Для организма в целом этот коэффициент равен 1, а для органов имеет следующие значения:

красный костный мозг - 0,12, костная ткань - 0,03

молочная железа - 0,15, щитовидная железа - 0,05

лёгкие - 0,12, желудок - 0,12, толстый кишечник - 0,12

гонады (яичники, семенники) - 0,20, кожа - 0,01

# ВЛИЯНИЕ ДОЗЫ

<b>Доза облучения, рентген</b>	<b>Эффект</b>
700 и более	Смертность — 100%
600	Смертность — 90% за 14 суток
350	Смертность — 50% за 30 суток
150	Смертность — 5%; «лучевое похмелье»* — 50%
100	Тошнота, рвота, вялость во всем теле, значительное снижение количества лимфоцитов
50	Временное снижение количества лимфоцитов
25 и менее	Не обнаруживаются клинических симптомов

\* Отравление организма продуктами взаимодействия излучения с организмом. Похоже на алкогольное похмелье.

# Л Е Т А Л Ь Н Ы Е   Д О З Ы



# ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ



## ЛУЧЕВАЯ БОЛЕЗНЬ

1 степень - менее 200 рентген

2 степень - 200-300 рентген

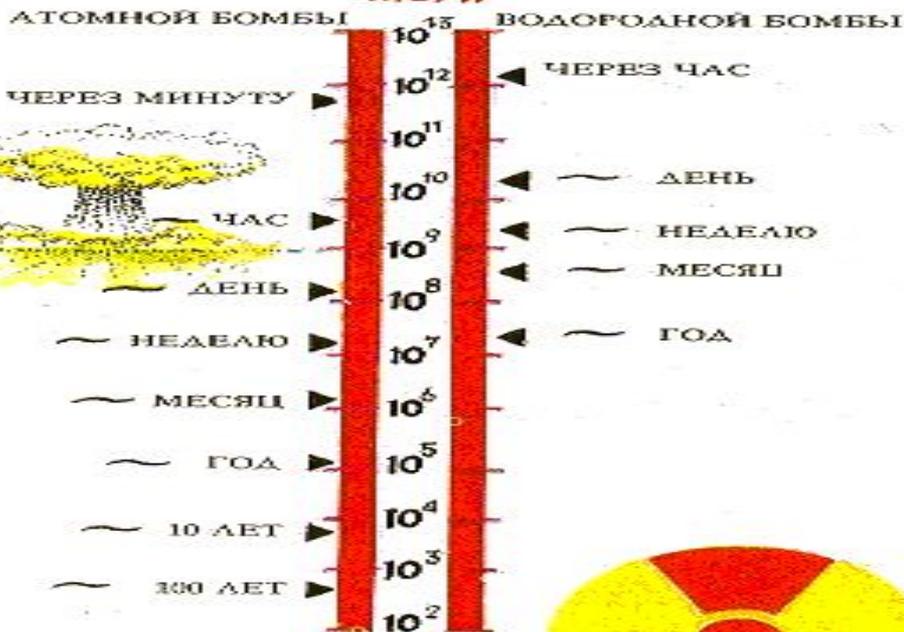
3 степень - 400-700 рентген

4 степень - более 700 рентген

## ГРУППЫ КРИТИЧЕСКИХ ОРГАНОВ

- 1-я группа
- 2-я группа
- 3-я группа

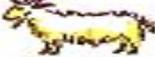
**КЮРИ**



**ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ**

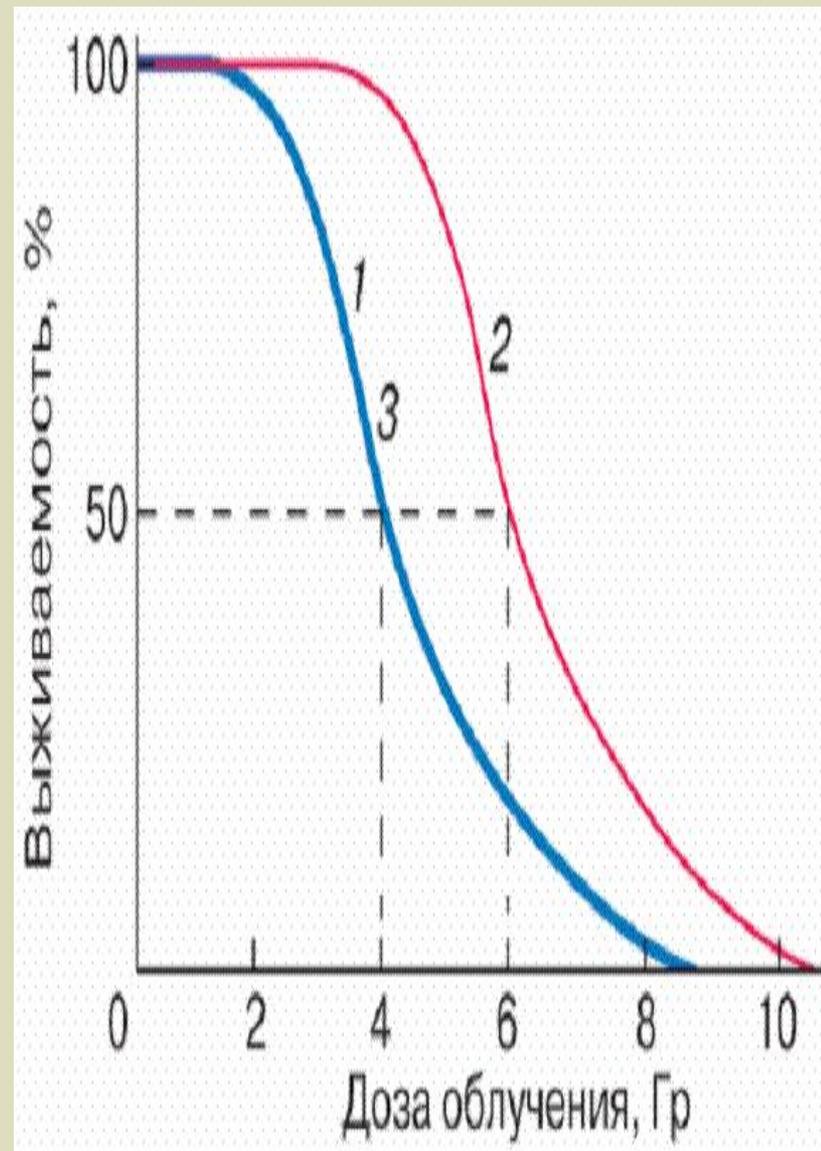


**РЕНТГЕН**

1000-150 000	РАСТЕНИЯ	
100 000	АМЕБА	
20 000	УЛИТКА	
8000-20 000	ЗМЕИ	
1000-10 000	НАСЕКОМЬЕ	
800-2000	РЫБЫ, ПТИЦЫ	
600-1500	МЫШИ	
700-900	КРЫСЫ	
250-600	ОБЕЗЬЯНЫ	
400	ЧЕЛОВЕК	
400	МОРСКАЯ СВИНКА	
250-400	СОБАКИ	
350	КОЗА	
300	ОСЕЛ	
200	ОВЦА	

# РАДИОМОДИФИЦИРУЮЩИЕ АГЕНТЫ

**1. РАДИОПРОТЕКТОРЫ** - вещества, уменьшающие степень лучевого поражения. В медицине применяют для уменьшения радиационного поражения здоровых органов и тканей во время лучевой терапии. Существуют специальные препараты (часто содержат сульфгидрильную группу). После или во время облучения принимать бесполезно, **обязательно до него!** Природные радиопротекторы – фрукты и овощи красного и оранжевого цвета, которые содержат каротиноиды.



**2. РАДИОСЕНСИБИЛИЗАТОРЫ** - вещества или меры, увеличивающие степень лучевого поражения. В медицине применяют для увеличения радиационного поражения опухолевых клеток. Существуют специальные фармпрепараты - радиосенсибилизаторы. Их вводят в опухоль перед облучением.

Наиболее известный радиосенсибилизатор - **КИСЛОРОД**. «Кислородный эффект» – усиление лучевого поражения в среде, насыщенной кислородом. Опухоли плохо кровоснабжаются (сосуды отстают в скорости роста за клетками). Поэтому чтобы их чувствительность была выше, чем у здоровых клеток – опухоли облучают в среде, где мало кислорода (им всё равно, а степень поражения здоровых клеток уменьшается из-за их кислородного «голодания»).

**Гипертермия** – также радиосенсибилизатор. Клетки опухоли нагреваются сильнее также из-за плохого кровоснабжения. Их температура больше на 2-5 градусов, чем у здоровых тканей. Лучевая терапия эффективнее на фоне гипертермии раковых клеток.

# ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В МЕДИЦИНЕ

## мышцы

цезий - 134, 137  
европий - 154, 155  
калий - 40, 42

## Щитовидная железа

иод-129, 131  
технеций - 99

## лёгкие

криптон - 85  
плутоний - 238, 239  
радон - 222  
уран - 233  
ксенон - 133, 135

## селезёнка

полоний - 210

## кости

барий - 140  
углерод - 14  
европий - 154, 155  
фосфор - 32  
плутоний - 238, 239, 241  
прометий - 147  
радий - 226  
стронций - 89, 90  
торий - 234  
уран - 233  
цинк - 65

## печень

цезий - 137  
кобальт - 58, 60  
нептуний - 239  
плутоний - 238, 239, 241

## кожа

сера - 35

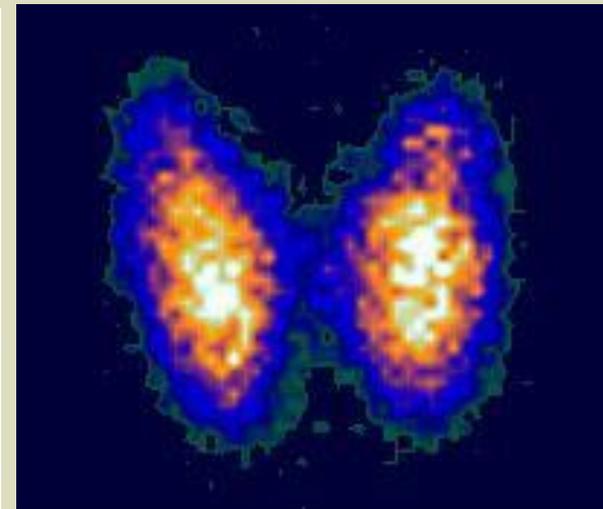


1. Основано на учёте соотношения вреда и пользы (польза от применения должна превышать вред, который наносится организму).
2. Используют свойство различных органов и тканей накапливать определённые радионуклиды (их стабильные изотопы, с которыми радионуклиды имеют одинаковые химические свойства, обычно имеют значение в физиологических процессах в данном органе).

**Свойство радионуклида накапливаться в определённом органе называется тропностью.**

# ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В МЕДИЦИНЕ

- 1. Радиоизотопные методы диагностики** – это методы, основанные на регистрации излучения радиоактивных изотопов, введенных в организм в качестве индикатора.



1. Применяют ничтожно малые количества радиоизотопов, которые не наносят вред организму. Используют короткоживущие изотопы (с малым периодом полураспада, чаще всего технеций).
2. Накопление изотопов зависит от функциональной активности органа. Поэтому методы применяют для изучения не только анатомической структуры, но и физиологических процессов. Возможна диагностика на стадии нарушения биохимических процессов.
3. Регистрация излучений введенных внутрь радионуклидов производится наружными детекторами (гамма-топограф, гамма-камера, автордиография).

# ПОЗИТРОННАЯ ЭМИССИОННАЯ ТОМОГРАФИЯ

ПЭТ, или двухфотонная эмиссионная томография — радионуклидный томографический метод исследования внутренних органов человека или животного. Метод основан на регистрации пары гамма-квантов, возникающих при аннигиляции позитронов с электронами. Позитроны возникают при позитронном бета-распаде радионуклида, входящего в состав радиофармпрепарата, который вводится в организм перед исследованием.

С помощью специального детектирующего оборудования (ПЭТ-сканера) отслеживают распределение в организме биологически активных соединений (например, глюкозы), меченных позитрон-излучающими радиоизотопами. С помощью ПЭТ можно изучать: метаболизм, транспорт веществ, лиганд-рецепторные взаимодействия, экспрессию генов и т. д.



На сегодняшний день в ПЭТ в основном применяются позитрон-излучающие изотопы элементов второго периода периодической системы: углерод-11 ( $T_{1/2} = 20,4$  мин.), азот-13 ( $T_{1/2} = 9,96$  мин.), кислород-15 ( $T_{1/2} = 2,03$  мин.), фтор-18 ( $T_{1/2} = 109,8$  мин.) Фтор-18 обладает оптимальными характеристиками для использования в ПЭТ: наибольшим периодом полураспада и наименьшей энергией излучения.

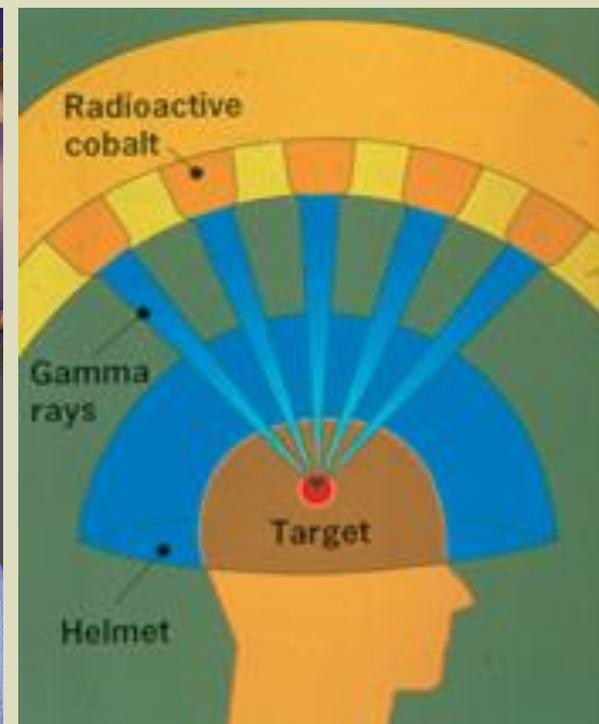
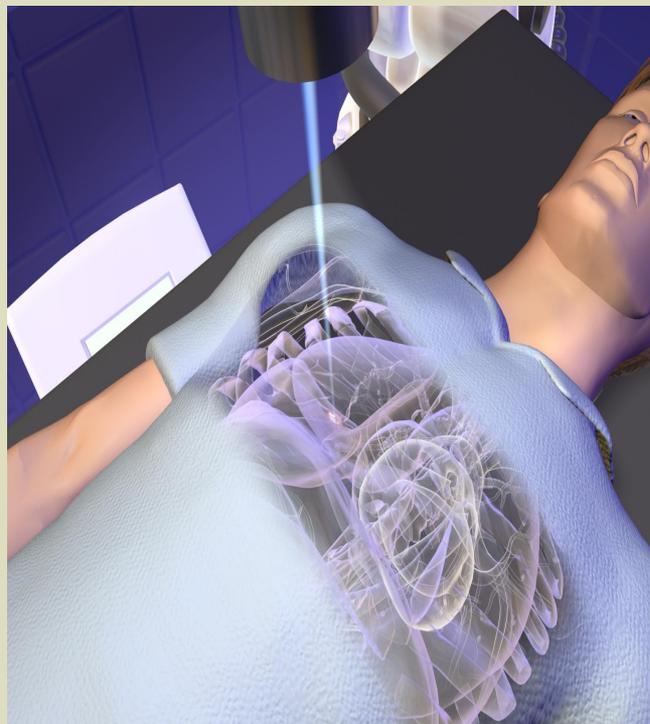
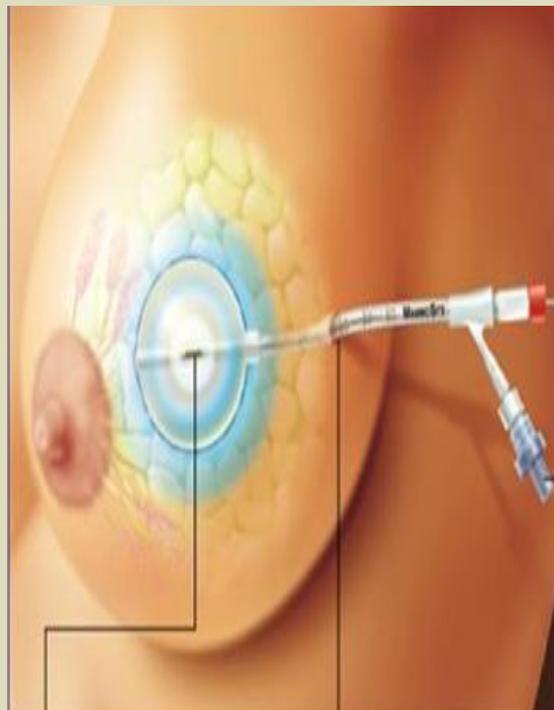
# ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ В МЕДИЦИНЕ

**2. Лечение онкологических заболеваний** (основано на том, что раковые клетки более чувствительны к действию ионизирующих излучений, чем здоровые).

**Внутренняя радиотерапия**  
(брахитерапия - введение имплантантов радионуклидов непосредственно в опухоль)

**Внешняя радиотерапия** (осуществляется с помощью внешних источников радиоактивных излучений – кобальтовая пушка, ускорители элементарных частиц).

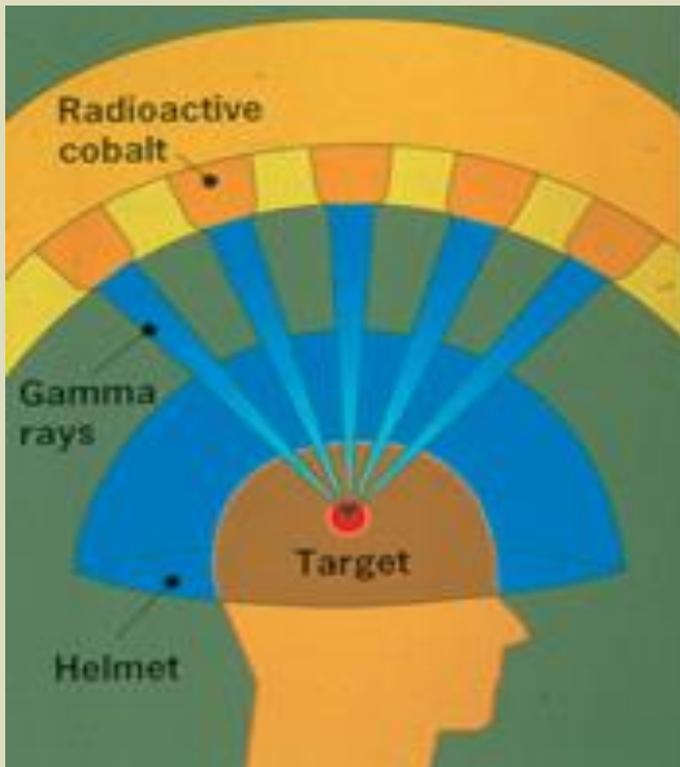
**Гамма-нож**



# РАДИОХИРУРГИЯ

Метод лечения был предложен шведским нейрохирургом Ларсом Лекселем в 1951 году. Спроектированный Лекселем аппарат для радиохирургии под названием **Гамма – нож** был впервые выпущен в 1968 году.

В основе радиохирургии лежит идея однократного воздействия большой дозы ионизирующего излучения на опухоль мозга или другое патологическое образование. Для предотвращения побочных эффектов излучение должно быть очень точно сфокусировано на опухоли.



1. В день проведения лечения на голове пациента фиксируется стереотаксическая рама.
2. Для определения точного местоположения опухоли проводится МРТ- исследование.
3. Координаты опухоли - мишени передаются в аппарат Гамма - нож.
4. Во время самой радиохирургической процедуры голова неподвижно зафиксирована. Источники радиоактивного кобальта-60 располагаются вокруг головы, испускаемое ими гамма-излучение фокусируется на опухоли с точностью менее одного мм.

**Процедура безболезненна, пациент в тот же день выписывается из больницы.**

Помимо Гамма - ножа в стереотаксической радиохирургии применяются такие системы, как Новалис, Trilogy, Икс - нож (X-Knife), SynergyS, Кибернож и другие. Отличия между различными аппаратами - в источнике ионизирующего излучения, способах фокусировки лучей на опухоль, распределении дозы излучения внутри патологического очага и цене.

Эффект от лечения наступает лишь спустя несколько месяцев после процедуры, при этом опухоль, как правило, не уничтожается и не исчезает полностью, а лишь прекращает свой рост и несколько уменьшается в размерах. Поэтому, в случае быстро растущей опухоли применение радиохирургии противопоказано, пациент может просто не дожить до наступления лечебного эффекта. Она применяется только при лечении опухолей до трёх см в диаметре с четкими границами.