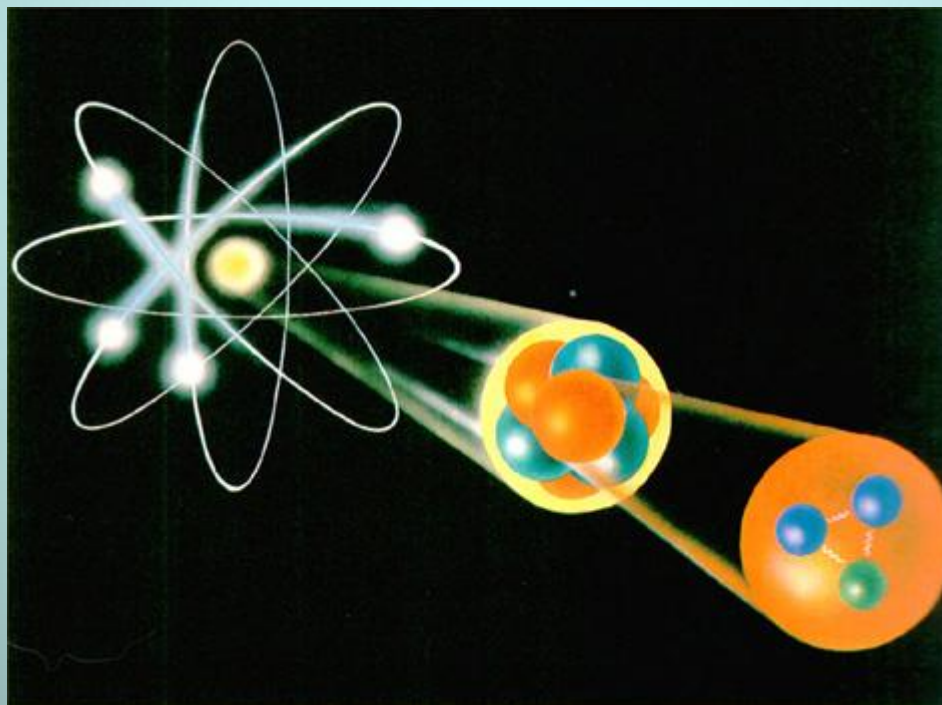
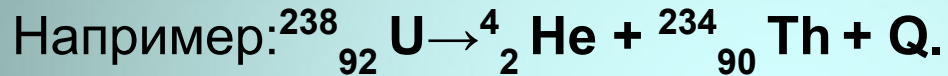


**Типы ядерных превращений.  
Взаимодействие ИИ  
с веществами.  
Виды ИИ и их характеристика.**

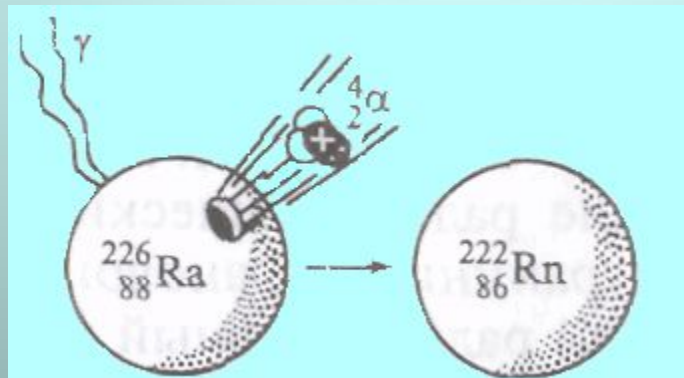


# Альфа-распад

Этот вид ядерных превращений сопровождается испусканием из ядра альфа – частицы, представляющей собой ядро атома гелия, что приводит к уменьшению порядкового номера нового химического элемента на 2 единицы и массового числа (атомной массы) на 4 единицы.



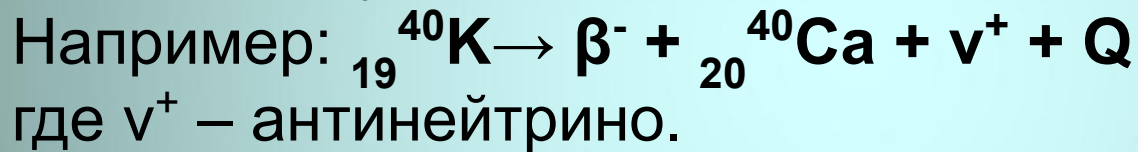
Альфа-частицы имеют положительный заряд, скорость распространения 20000 км/с, обладают большой массой – 4,003 а.е.м., большой энергией – 2-11 МэВ (мегаэлектронвольт), проникающая способность в воздухе 2-10 см, в биологических тканях – несколько десятков микрометров.



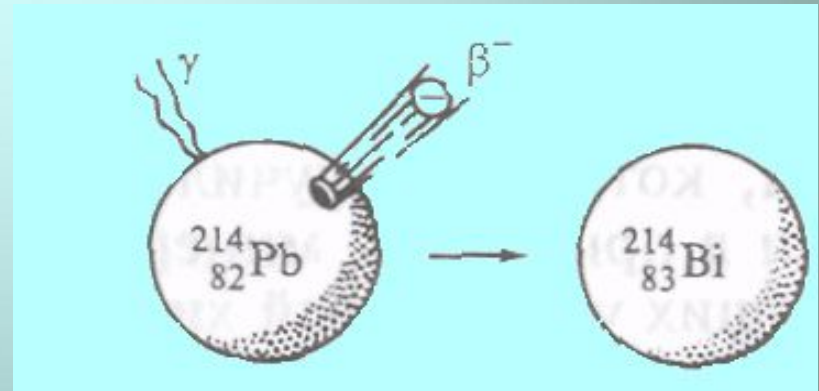
Проходя через вещество, положительно заряженная альфа частица постепенно теряет свою энергию за счет взаимодействия с электронами атомов или других отрицательно заряженных частиц, вызывая их ионизацию, часть энергии теряется на возбуждение атомов и молекул. В воздухе на 1 см пути альфа-частица образует 100-250 тыс. пар ионов, при попадании в организм они крайне опасны для человека и животных (плотноионизирующее радиоактивное излучение).

## Бета-распад.

Если в ядре имеется **излишек нейтронов**, то происходит **электронный бета-распад**. При этом виде ядерных превращений один из нейтронов превращается в протон, а ядро испускает **электрон и антинейтрино** и возникает ядро нового элемента при неизменном массовом числе, дочерний элемент сдвинут в таблице Д.И. Менделеева на 1 поле.

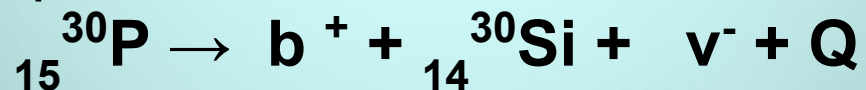


**Антинейтрино** – элементарной частицы с массой менее 1/2000 массы покоя электрона.



При **излишке протонов** происходит **позитронный ( $\beta^+$ ) бета-распад**. Он сопровождается образованием нового элемента, расположенного в периодической таблице Д.И. Менделеева на 1 позицию влево от материнского; протон превращается в нейтрон, энергия выделяется также в виде элементарной частицы – нейтрино. Позитрон срывает с электронной оболочки электрон, образует пару позитрон – электрон, при взаимодействии которых образуются 2 гамма-кванта (процесс аннигиляции).

Например:

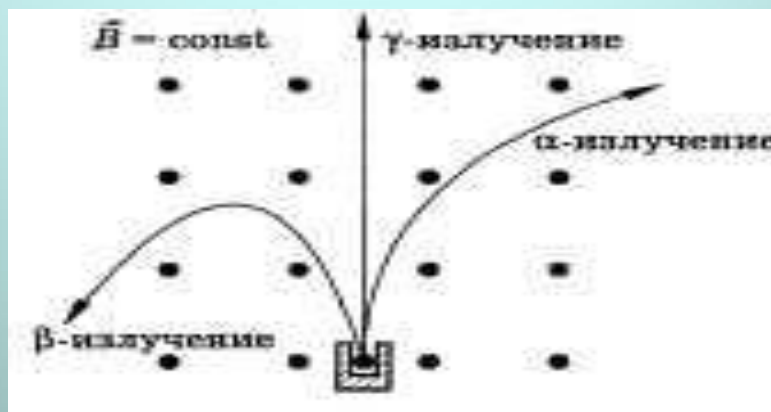


где Q – энергия двух гамма-квантов;

$\nu^+$  – антинейтрино.

**Бета-частицы (бета-излучение)** распространяются со скоростью света, проникающая способность в воздухе до 25 метров, а в биологических тканях – до 1 см, в воздухе на 1 см пробега образует 50-100 пар ионов (редкоионизирующее излучение).

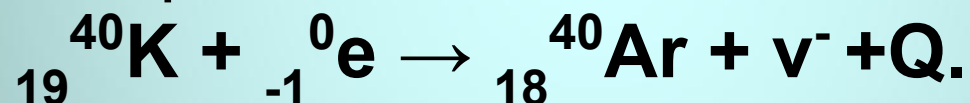
**π-мезоны** – отрицательно заряженные элементарные частицы, масса больше в 273 раза массы электрона, энергия 25-100 МэВ, при взаимодействии с веществами вызывают разрушение ядер с вылетом нейтронов, альфа-частиц, ионов лития, бериллия и др. (микровзрыв ядер).



- **Гамма-излучение** – это коротковолновое электромагнитное излучение, распространяется прямолинейно со скоростью света, энергия его колеблется от 0,01 МэВ до 3 МэВ. Гамма-кванты испускаются при альфа- и бета-распадах ядра природных и искусственных радионуклидов, лишены массы покоя, не имеют заряда, поэтому проникающая способность в воздухе составляет 150 метров, в биологических тканях – десятки сантиметров.

**K-захват электронов ядром** – при этом процессе протон ядро атома захватывает электрон с ближайшей к ядру K-орбитали или реже с L-орбитали, имеет место такое же превращение ядра, как и при позитронном распаде.

Например:



При K-захвате единственной вылетевшей частицей является антинейтрино, возникает также характеристическое рентгеновское излучение.



**Рентгеновское излучение** также является электромагнитным излучением, имеет свойства гамма-излучения, возникает при торможении электронов в электрическом поле ядра атомов (тормозное рентгеновское излучение) или при перестройке электронных оболочек атомов при ионизации и возбуждении атомов и молекул (характеристическое рентгеновское излучение).

**Самопроизвольное деление ядер.** Этот процесс наблюдается у радиоактивных элементов с большими атомными номерами –  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и др. при захвате их ядрами медленных нейтронов.



Нейтроны не несут заряда (электронейтральны), проникающая способность нейтронного излучения в воздухе и в биологических тканях очень большая, они являются плотноионизирующими, атомные ядра при поглощении нейтронов становятся неустойчивыми, распадаются с испусканием протонов, альфа-частиц, фотонов гамма-излучения, осколков ядра.

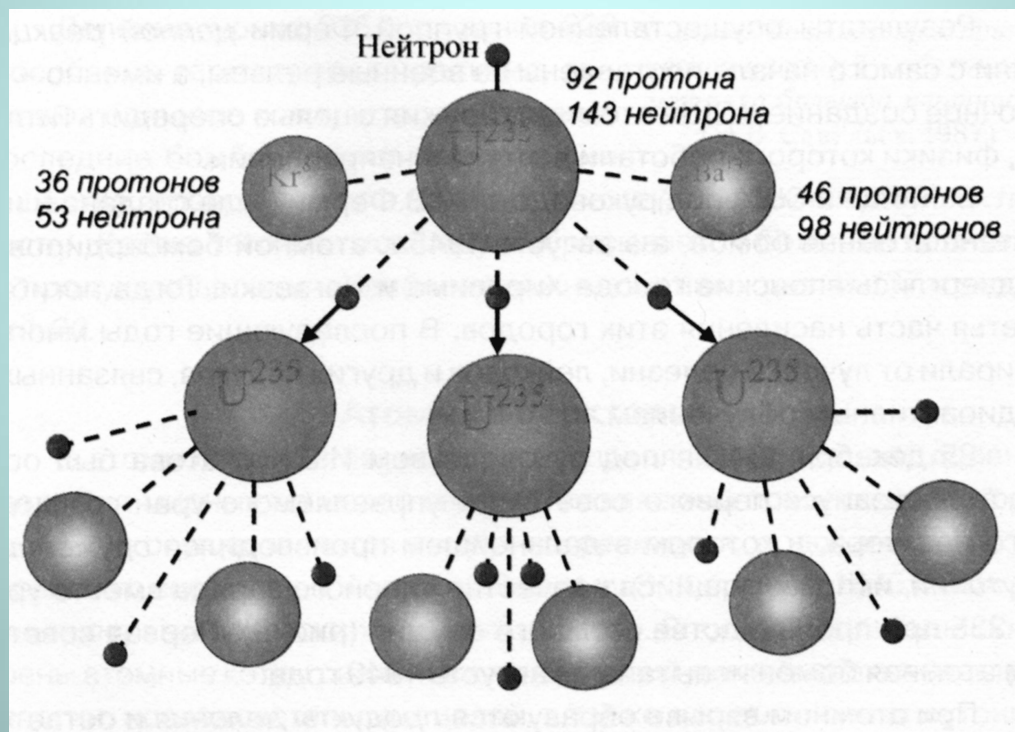
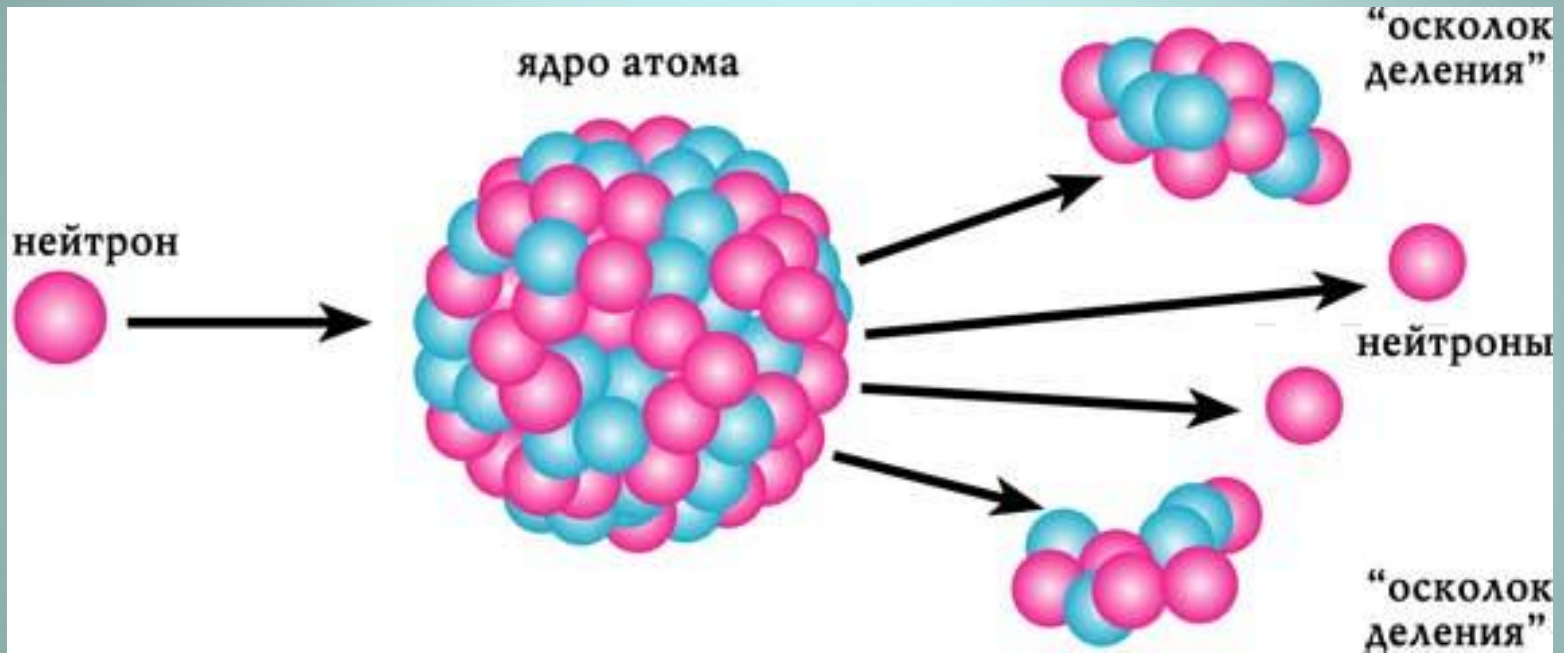
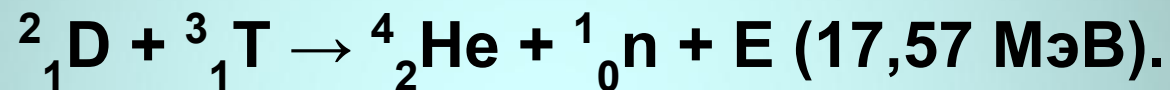


Схема цепной реакции  $^{235}_{92}\text{U}$

# Схематическое представление деления ядра $^{235}\text{U}$



**Термоядерные реакции** протекают при температурах, достигающих нескольких миллионов градусов. В этих условиях ядра легких элементов, двигаясь с большими кинетическими энергиями, будут сближаться и объединяться в ядра более тяжелых элементов, например:



В результате появляется поток альфа и нейтронного излучения.

На этом принципе основано устройство термоядерных зарядов, состоящих из плутониевого запала, служащего для создания высокой температуры, и смеси изотопов водорода – дейтерия и трития.

# Шкала электромагнитного излучения



Понятие дозы и мощности  
дозы ИИ. Единицы измерения.

**Экспозиционная доза излучения (Д эксп.)** - характеризует ионизационную способность фотонных видов ИИ (рентгеновского и гамма-излучения) в воздухе.

Применяется *внесистемная* единица – **рентген – Р**. Один рентген (**1 Р**) – такое количество энергии рентгеновского или гамма-излучения, которое в  $1 \text{ см}^3$  воздуха при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и температуре  $0^\circ\text{C}$  образует  $2,08 \times 10^9$  пар ионов.

$$1 \text{ Р} = 2,08 \times 10^9 \text{ пар ионов.}$$

Рентген имеет производные единицы – мР, мкР, кР, МР и др.

В *Международной системе единиц (СИ)* за единицу экспозиционной дозы принят кулон на килограмм (**Кл/кг**), **1 Кл/кг** такое количество энергии рентгеновского и гамма-излучения, которое в 1 кг сухого воздуха образует ионы, несущие суммарный заряд в один кулон электричества каждого знака.

$$1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}; \quad 1 \text{ Кл/Кг} = 3876 \text{ Р.}$$

**Поглощенная доза излучения** используется для определения эффекта воздействия поглощенной энергии ИИ при взаимодействии с веществами, в т.ч. в биологических тканях.

Применяется внесистемная единица **рад** (*rad – radiation absorbent dose*) – это такая доза, при которой в 1 г массы облучаемого вещества поглощается энергия любого вида ИИ равная 100 эрг.

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г.}$$

Рад имеет производные единицы – дольные и кратные: мрад, мкрад, крад, Мрад и др.

В системе единиц СИ за единицу поглощенной дозы принята величина **грей – Гр.**

**1 Гр** - такая поглощенная доза, при которой в 1 кг массы вещества поглощается энергия излучения, равная **1 джоулю (Дж).**

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

Грей имеет также дольные и кратные величины.

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад; } 1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр.}$$



**Эквивалентная или биологическая доза** ( $D_{\text{экв.}}$  или  $D_{\text{биол.}}$ ) применяется для оценки биологической эффективности различных видов ИИ, т.к. одинаковые дозы различных видов ИИ оказывают на организмы разное действие, обусловленное неодинаковой плотностью ионизации – удельной ионизацией.

Чем выше удельная ионизация, тем больше эффект биологического действия облучения. В связи с этим в радиобиологии введено понятие *относительной биологической эффективности* (ОБЭ) или *коэффициента качества* (КК) или *взвешивающие коэффициенты* (по НРБ-99) ионизирующих излучений.

$$D_{\text{экв. (биол.)}} = D_{\text{погл.}} \times \text{ОБЭ (КК)}.$$

## Средние значения КК (ОБЭ) следующие:

- фотоны любых энергий – 1;
- электроны и мюоны любых энергий – 1;
- протоны с энергией более 2 МэВ – 5;
- нейтроны с энергией:
  - менее 10 кэВ (медленные, тепловые и промежуточные) – 5;
  - от 10 до 100 кэВ – 10;
  - от 100 кэВ до 2 МэВ (быстрые) – 20;
  - от 2 МэВ до 20 МэВ (быстрые) – 10;
  - более 20 МэВ (быстрые) – 5;
- альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра – 20.

Мюоны – элементарные заряженные частицы с массой около 207 электронных масс ( $\mu^+$  – мю мезоны).

Быстрые нейтроны – с энергией более 100 кэВ, промежуточные – от 100 до 1 кэВ, медленные – менее 1 кэВ, тепловые – около 0,025 эВ.

Внесистемная единица эквивалентной дозы – биологический эквивалент рентгена (рада) – **бэр**.

$$1 \text{ бэр} = 1 \times 10^{-2} \text{ Дж/кг}$$

Данная единица имеет дольные и кратные величины – мбэр, мкбэр, кбэр, Мбэр.

**В системе СИ** единица эквивалентной дозы – **зиверт (Зв)**.

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр.}$$

Разные органы и ткани имеют разную чувствительность к излучению. Для случаев неравномерного облучения разных органов или тканей человека введено понятие эффективной эквивалентной дозы ( $D_{\text{эфф.}}$ ).

$$D_{\text{эфф.}} = \sum w \times D_{\text{эkv.}}$$

где  $D_{\text{эфф.}}$  – эффективная эквивалентная доза;

$w$  – коэффициент радиационного риска;

$D_{\text{эkv.}}$  – средняя эквивалентная доза в органе или ткани.

**Единицей эффективной эквивалентной дозы являются бэр и Зв (зиверт).**

## Коэффициенты радиационного риска $w$ для различных органов и тканей человека

Орган или ткань	$w$
Гонады	0,25
Молочная железа	0,15
Красный костный мозг	0,12
Легкие	0,12
Щитовидная железа	0,03
Поверхность кости	0,03
Все другие органы	0,30
Весь организм в целом	1,0

Помимо перечисленных понятий, в радиационной безопасности широко используются термины годовой и коллективной эффективной или эквивалентной дозы.

**Годовая эффективная (эквивалентная) доза** – это сумма эффективной (эквивалентной) дозы внешнего облучения, полученной за календарный год, и ожидаемой дозы внутреннего облучения, обусловленной поступлением за этот же год в организм радионуклидов.

**Коллективная эффективная доза** – это мера коллективного риска возникновения стохастических эффектов облучения, равная сумме индивидуальных коллективных доз; она измеряется в человеко-зивертах (чел. × Зв).

## ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА	$D = dE/dm$	Дж/кгГр	сГр, кГр, рад, крад
ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА	$X = dQ/dm$	Кл/кг	Р
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА	$H_T = \sum W_k \cdot D_k$	Дж/кг	Зв, мЗв, мкЗв, бэр
ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА	$E = \sum W_T \cdot D_T$	Дж/кг	Зв, мЗв, мкЗв
ПОЛЕВАЯ ДОЗА	$H = D$	Гр	сГр, кГр
МОЩНОСТЬ ДОЗЫ: > ПОГЛОЩЕННОЙ > ЭКСПОЗИЦИОННОЙ > ЭКВИВАЛЕНТНОЙ > ЭФФЕКТИВНОЙ > ПОЛЕВОЙ	$\dot{D} = dD/dt$ $\dot{X} = dX/dt$ $\dot{H}_T = dH_T/dt$ $\dot{E} = dE/dt$ $\dot{H} = dH/dt$	Гр/с А/кг Зв/с Зв/с Гр/с	рад/с Р/ч мкЗв/ч мкЗв/ч рад/с
	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$

## Мощность дозы ИИ

В биологическом отношении важно знать не только дозу излучения, которую получил облучаемый объект, а дозу, полученную в единицу времени. Суммарная доза, значительно превышающая летальную, но полученная в течение длительного периода времени, не приводит к гибели животного, а доза, меньше смертельной, но полученная в короткий период времени, может вызвать лучевую болезнь различной степени тяжести.

**Мощность дозы (P)** – это доза излучения (D) отнесенная к единице времени t:

$$P = D / t.$$

**Мощность экспозиционной дозы** в системе СИ измеряется в **ампер на килограмм (А/кг)**, внесистемная единица – в **рентген в секунду (Р/с)** или в других дольных и кратных величинах:

$$1 \text{ А/кг} = 3876 \text{ Р/с}, 1 \text{ Р/с} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ А/кг}$$

Под радиационным (гамма, внешним радиационным) фоном понимают мощность экспозиционной дозы ионизирующих излучений в воздухе, уровень его для средней полосы России составляет **4-40 мкР/ч** (микрорентген в час).

Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите (МКЗР) и Всемирного общества здравоохранения (ВОЗ) радиационный уровень :

- 0,1 - 0,2 мкЗв/ч (10 - 20 мкР/ч), признано считать **нормальным уровнем** (соответствующий естественному фону),
- 0,2 - 0,6 мкЗв/ч (20 - 60 мкР/ч) считается **допустимым**,
- 0,6 - 1,2 мкЗв/ч (60 - 120 мкР/ч) считается **повышенным**.



**Мощность поглощенной дозы** облучения в системе СИ измеряется

**Вт/кг, Гр/с**

или в других кратных и дольных величинах.  
Внесистемной единицей поглощенной дозы является

**рад/с,**

а так же другие кратные и дольные величины.

**Мощность биологической (эквивалентной) дозы** облучения в системе СИ измеряется в

**Зв/с**

или в других кратных и дольных величинах.  
Внесистемной единицей поглощенной дозы является

**бэр/с**

а так же другие кратные и дольные величины.