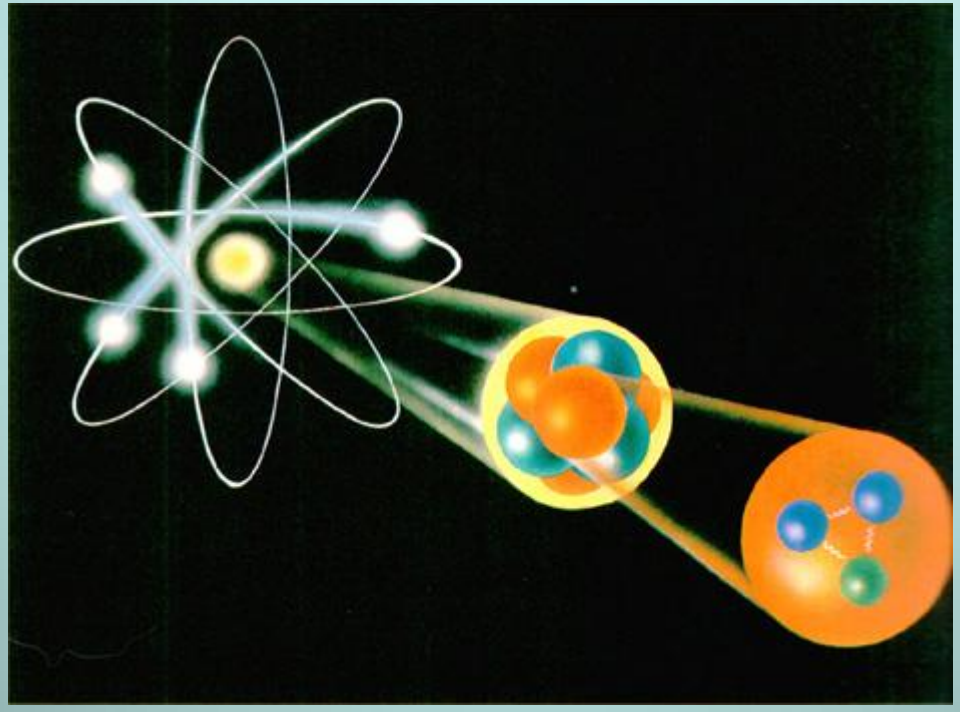
Типы ядерных превращений. Взаимодействие ИИ с веществами. Виды ИИ и их характеристика.

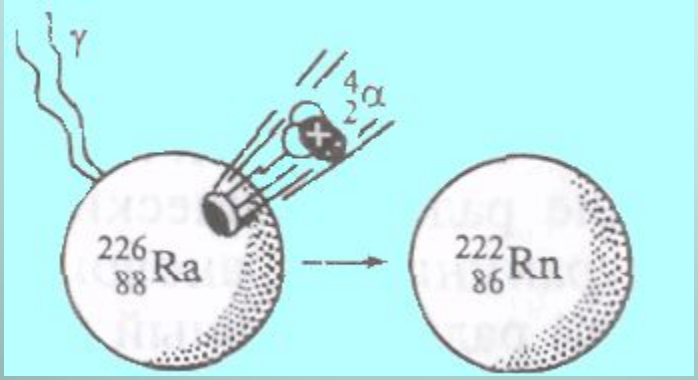


Альфа-распад

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.

Например: $^{238}_{92}U \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{234}_{90}Th + Q$.

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).

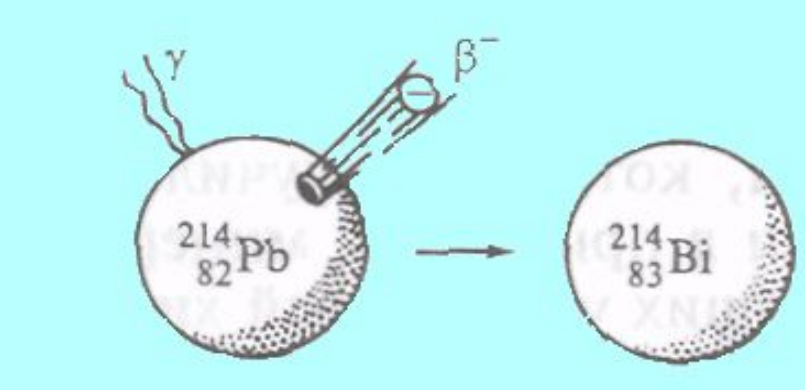
Бета-распад.

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.

Например: $_{19}^{40}K \rightarrow \beta^- + {}_{20}^{40}Ca + v^+ + Q$

где v^+ – антинейтрино.

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



При **излишке протонов** происходит **позитронный (β^+) 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:

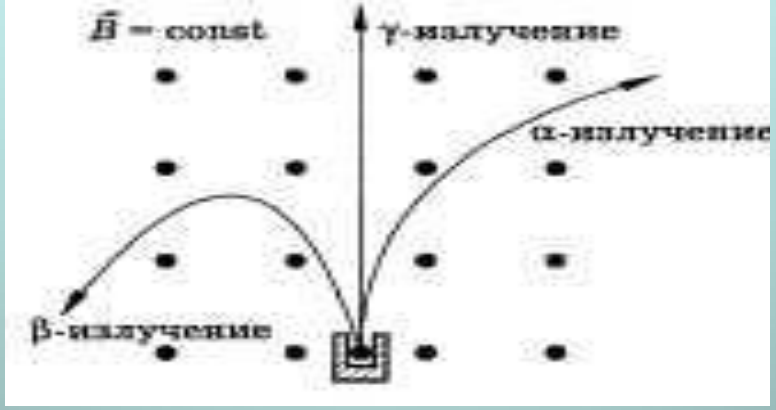
$$_{15}^{30}P \rightarrow b^{+} + {}_{14}^{30}Si + v^{-} + Q$$

где Q – энергия двух гамма-квантов;

v^{+} – 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.

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

Например:

$$_{19}^{40}K + _{-1}^{0}e \rightarrow _{18}^{40}Ar + v^{-} + Q.$$

При К-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}U, ^{239}Pu и др. при захвате их ядрами медленных нейтронов.

$$^{235}U + {}^{1}n \rightarrow {}^{90}Kr + {}^{140}Ba + 5\,{}^{1}n.$$

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.

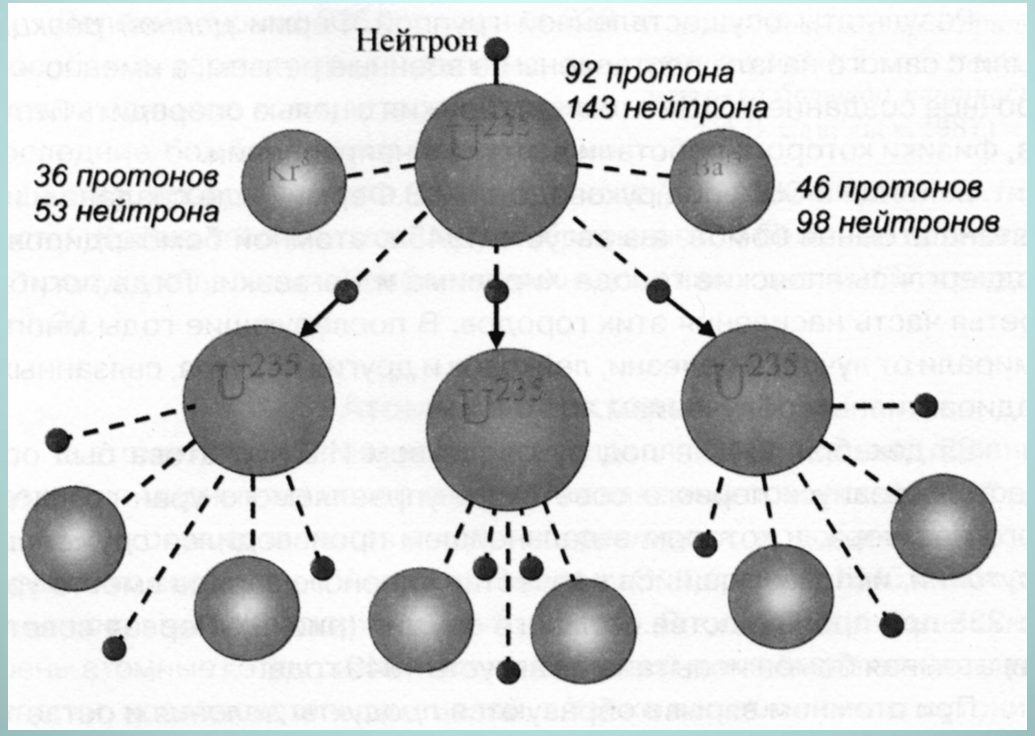
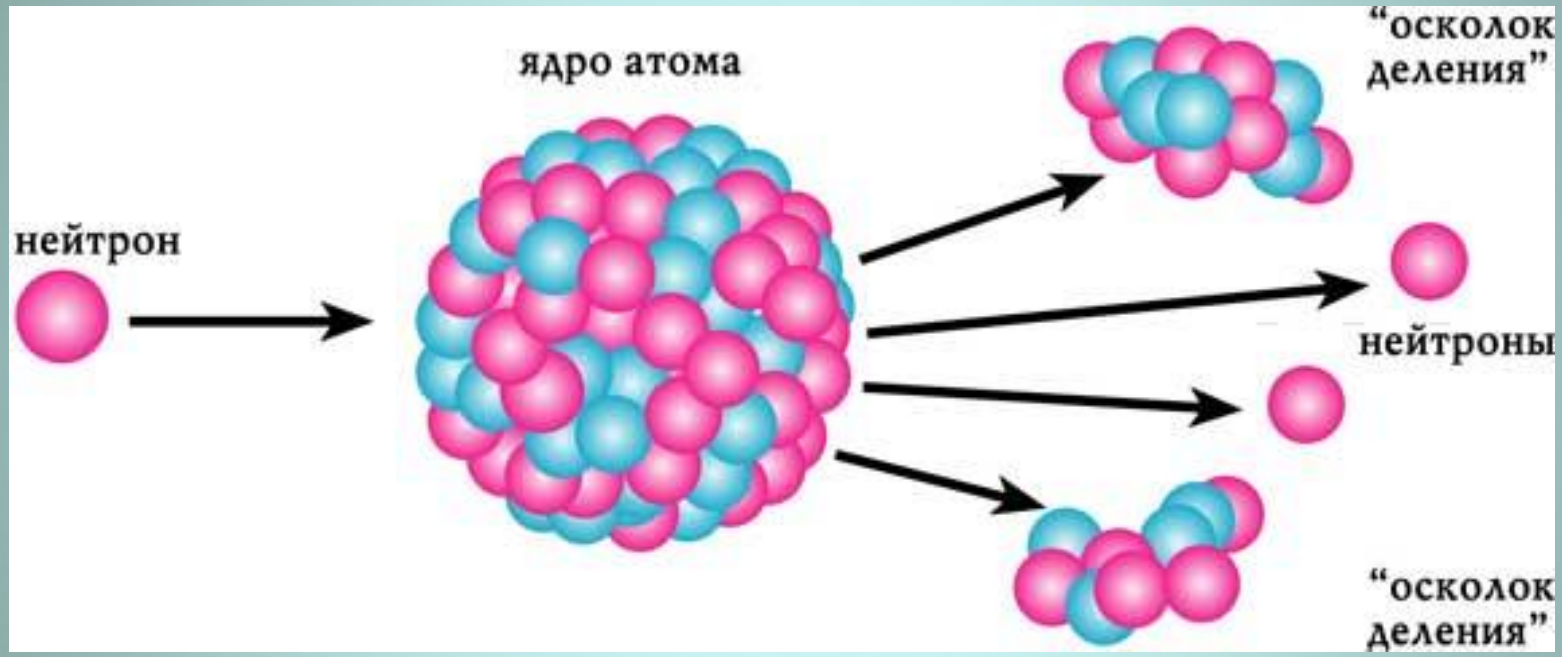


Схема цепной реакции $^{235}_{92}U$

Схематическое представление деления ядра ^{235}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:

$$^{2}_{1}D + ^{3}_{1}T \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n + E \ (17{,}57 \text{ МэВ}).$$

В результате появляется поток альфа и 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

http://flp-mokiyakov-n-yu.uaprom.net/

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 $см^3$ воздуха при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. и температуре 0°С образует $2{,}08 \times 10^9$ пар ионов.

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

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-излучении, которое в 1 кг сухого воздуха образует ионы, несущие суммарный заряд в один кулон электричества каждого знака. $1\ Р = 2{,}58 \times 10^{-4}$ **Кл/кг; 1 Кл/Кг = 3876 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 рад = 100 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 Гр = 1 Дж/кг.

Грей имеет также дольные и кратные величины.

1 Гр = 100 рад; 1 рад = 0,01 Гр.

Эквивалентная или биологическая доза **($Д_{экв.}$ или $Д_{биол.}$)** 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.

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

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 (μ^+ – 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***.

$$1 \text{ бэр} = 1\times10^{-2} \text{ Дж\кг}$$

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

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

1 Зв = 100 бэр.

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

$$D_{эфф.} = \Sigma\, w \times D_{экв.},$$

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

w – коэффициент радиационного риска;

$D_{экв.}$ – 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/кг Гр	сГр, кГр, рад, крад
ЭКСПОЗИЦИОННАЯ ДОЗА	$X = dQ/dm$	Кл/кг	Р
ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ДОЗА	$H_T = \Sigma_R W_R \cdot D_T$	Дж/кг	Зв, мЗв, мкЗв, бэр
ЭФФЕКТИВНАЯ ДОЗА	$E = \Sigma_T W_T \cdot D_T$	Дж/кг	Зв, мЗв, мкЗв
ПОЛЕВАЯ ДОЗА	$H = D$	Гр	сГр, кГр
МОЩНОСТЬ ДОЗЫ: ➢ ПОГЛОЩЕННОЙ ➢ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ➢ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ➢ ЭФФЕКТИВНОЙ ➢ ПОЛЕВОЙ	 $D = dD/dt$ $X = dX/dt$ $H_T = dH_T/dt$ $E = dE/dt$ $H = dH/dt$	 Гр/с А/кг Зв/с Зв/с Гр/с	 рад/с Р/ч мкЗв/ч мкЗв/ч рад/с
1Р = 2,58·10-4 Кл/кг	1 Гр = 100 рад	1 Зв = 100 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 А/кг = 3876 Р/с, 1 Р/с = $2{,}58\times10^{-4}$ 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.