



КПИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ УКРАИНЫ

"Киевский политехнический институт"

ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ

Лекция 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

Носовский Анатолий Владимирович
Основы дозиметрии. Лекция 2. Основные понятия, единицы измерения
д-р. техн. наук, проф. 1

Международная система единиц СИ

В настоящее время Международная система единиц СИ включает семь основных единиц:

- метр – для измерения длины
- килограмм – для измерения массы
- секунда – для измерения времени
- Ампер – для измерения силы электрического тока
- градус Кельвина – для измерения термодинамической температуры
- моль – для измерения количества вещества
- кандела – для силы света

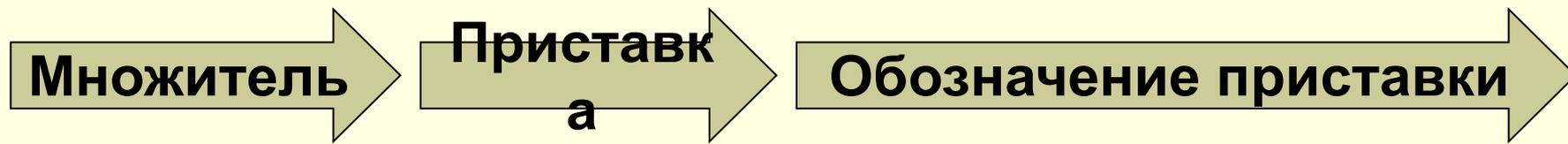
и две дополнительные единицы:

- радиан – для измерения плоского угла
- стерадиан – для измерения телесного угла

Международная система единиц СИ

Единица любой физической величины внутри данной системы выводится на основании одной или более этих величин путем перемножения и деления их и без использования каких-либо числовых множителей. В СИ допускается применение кратных и дольных единиц, образуемых с помощью десятичных приставок.

Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименований представлены далее в следующей последовательности:



Международная система единиц СИ

10^{18}	экса	Э
10^{15}	пета	П
10^{12}	тера	Т
10^9	гига	Г
10^6	мега	М
10^3	кило	к
10^2	гекто	г
10^1	дека	да

Международная система единиц СИ

10^{-1}	деци	Д
10^{-2}	санти	с
10^{-3}	милли	м
10^{-6}	микро	МК
10^{-9}	Нано	н
10^{-12}	Пико	п
10^{-15}	Фемто	ф
10^{-18}	Атто	к

Международная система единиц СИ

Существует ограниченная группа внесистемных единиц, которые не всегда можно заменить единицами СИ. Поэтому они допущены к применению без ограничения срока наряду с единицами СИ. Это, например, единицы:

- литр (л) – для объема;
- градус (...[°]), минута (...'), секунда (...") – для плоского угла;
- минута (мин.), час (ч.), сутки (сут.) и др. – для времени;
- единица энергии электрон-вольт (эВ) и ее десятичные кратные единицы.

На территории Украины, с принятием нормативного документа Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97), введены в обращение подавляющее большинство внесистемных единиц.

Соотношение между единицами СИ и внесистемными единицами в области радиационной безопасности

Величина и ее обозначение	Единица СИ	Внесистемная единица	Связь с единицей СИ
Активность, <i>A</i>	Беккерель (Бк)	Кюри (Ки)	1 Ки=3,7·10 ¹⁰ Бк
Плотность потока энергии частиц, <i>I</i>	Ватт на кв. м (Вт/м ²), равный 1 джоулю на кв. метр в секунду [Дж/(м ² ·с)]	Эрг на кв. см в сек. [эрг/(см ² ·с)] или мегаэлектрон-вольт на кв. см в секунду [МэВ/см ² ·с]	1 эрг/(см ² ·с)= 1·10 ⁻³ Дж/(м ² ·с)= 1·10 ⁻³ Вт/м ² ; 1МэВ/(см ² ·с)= 1,602·10 ⁻⁹ Дж/(м ² ·с) = 1,602·10 ⁻⁹ Вт/м ²
Поглощенная доза <i>D</i> , керма <i>K</i>	Грей (Гр)	Рад (рад)	1 рад = 0,01 Гр
Мощность поглощенной дозы <i>D</i> →	Грей в секунду (Гр/с)	Рад в секунду (рад/с)	1 рад/с=0,01 Гр/с
Эквивалентная доза, <i>H</i>	Зиверт (Зв)	Бэр (бэр)	1 бэр=0,01 Зв

Соотношение между единицами СИ и внесистемными единицами в области радиационной безопасности

Мощность эквивалентной дозы, $H \rightarrow$	Зиверт в секунду (Зв/с)	Бэр в секунду (бэр/с)	$1 \text{ бэр/с} = 0,01 \text{ Зв/с}$
Экспозиционная доза, X	Кулон на килограмм (Кл/кг)	Рентген (Р)	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Мощность экспозиционной дозы, $X \rightarrow$	Ампер на килограмм (А/кг)	Рентген в секунду (Р/с)	$1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$
Концентрация (объемная активность) радионуклида в атм. воздухе или воде, A/V	Беккерель на куб.м (Бк/м ³) Беккерель на литр (Бк/л)	Кюри на литр (Ки/л)	$1 \text{ Ки/л} = 3,7 \cdot 10^{13} \text{ Бк/м}^3$ $1 \text{ Ки/л} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк/л}$
Энергия ионизирующей частицы, E_0	Джоуль (Дж)	Электрон-вольт (эВ) Мегаэлектрон-вольт (МэВ)	$1 \text{ эВ} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$ $1 \text{ МэВ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$

Активность радионуклида

При работе с радиоактивными веществами и наиболее существенным является не масса радионуклида, а его активность.

Активность радионуклида в источнике A – отношение числа самопроизвольных ядерных превращений dN , происходящих в источнике за интервал времени dt , к этому интервалу:

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

В системе СИ единица измерения активности имеет специальное название беккерель (Бк) и имеет размерность обратной секунды (s^{-1}). Беккерель равен активности радионуклида в источнике, в котором за время 1 с происходит одно спонтанное ядерное превращение.

Активность радионуклида

Внесистемной единицей активности является Кюри (Ки). Кюри – активность радионуклида в источнике, при которой в одну секунду происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ спонтанных ядерных превращений. Такое число ядерных превращений происходит в 1 с в 1 г ^{226}Ra .

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

$$1 \text{ Бк} = 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$$

В практике часто пользуются величинами отношений общей активности радионуклида к длине, площади, объему или массе источника. Они характеризуют концентрацию радионуклида. И называются соответственно линейной, поверхностной, объемной и удельной активностью радионуклида.

Характеристики поля излучения

Поток ионизирующих частиц (фотонов) F – отношение числа ионизирующих частиц dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу:

$$F = dN / dt$$

Единица потока частиц – имеет размерность обратной секунды (с^{-1}) и равна потоку ионизирующих частиц, когда через данную поверхность проходит одна частица за 1 с.

Аналогично **поток энергии ионизирующих частиц** – это суммарная энергия всех ионизирующих частиц dW , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt .

$$F_w = dW / dt$$

Единица потока энергии ионизирующих частиц в СИ – джоуль в секунду (Дж/с) или ватт (Вт); внесистемная единица – электрон-вольт в секунду (эВ/с).

Характеристики поля излучения

Флюенс (перенос) ионизирующих частиц (фотонов) Φ – отношение числа ионизирующих частиц dN , проникающих в объем элементарной сферы, к площади поперечного сечения ds этой сферы

$$\Phi = dN / ds$$

Единица флюенса частиц в СИ – м^{-2} . Он равен флюенсу, при котором в сферу с площадью поперечного сечения 1 м^2 проникает одна частица.

Соответственно флюенс (перенос) энергии ионизирующих частиц

$$\Phi_w = dw / ds$$

Единица флюенса энергии ионизирующих частиц в СИ – $\text{Дж}/\text{м}^2$, но более предпочтительная на практике единица – $\text{МэВ}/\text{см}^2$.

Характеристики поля излучения

Плотность потока ионизирующих частиц ϕ – отношение потока ионизирующих частиц dF , проникающих в объем элементарной сферы, к площади поперечного сечения ds этой сферы

$$\phi = dF/ds$$

Единица плотности ионизирующих частиц [$\text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2}$].

Плотность потока энергии ионизирующих частиц (интенсивность ионизирующих частиц) I – отношение потока энергии ионизирующих частиц dF_w , проникающего в элементарную сферу, к площади ее центрального сечения ds :

$$I = dF_w/ds$$

Единица плотности потока энергии ионизирующих частиц [$\text{Дж}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$] или [$\text{Вт}/\text{м}^2$].

Характеристики поля излучения

Количественной характеристикой взаимодействия ионизирующего излучения и вещества является поглощенная доза излучения (D), равная отношению средней энергии dE , переданной ионизирующим излучением веществу в элементарном объеме, к массе облученного вещества в этом объеме dm :

$$D = dE / dm \quad [\text{Дж/кг}] \text{ и } [\text{Гр}]$$

Грей равен поглощенной дозе ионизирующего излучения, при которой веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения любого вида равная 1 Дж.

$$1 \text{ рад} = 100 \text{ эрг/г} = 0,01 \text{ Дж/кг} = 0,01 \text{ Гр.}$$

Характеристики поля излучения

Экспозиционная доза $D_{\text{эксп}}$ – отношение суммарного электрического заряда dQ ионов одного знака, возникающих в малом объеме сухого воздуха, к массе воздуха dm в указанном объеме, т. е.

$$D_{\text{эксп}} = \frac{dQ}{dm} \quad [\text{Кл/кг}] \text{ или } [\text{Р}]$$

1Р – это такая экспозиционная доза излучения, при которой в 1см^3 сухого воздуха при нормальных условиях, образуется $2,08 \cdot 10^9$ пар ионов.

$$1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$$

1 Р соответствует поглощенная доза 0,873 рад в воздухе или 0,95 рад в биологической ткани. Поэтому с погрешностью до 5 % экспозиционную дозу в рентгенах и поглощенную дозу в радах можно считать совпадающими.

Характеристики поля излучения

Для оценки радиационной опасности излучения произвольного состава при хроническом облучении человека в малых дозах (в дозах, не превышающих пяти предельно допустимых годовых доз при облучении всего тела человека) вводится понятие эквивалентной дозы.

Эквивалентная доза ионизирующего излучения ($D_{\text{экв},T,R}$) определяется как произведение поглощенной дозы в органе или ткани на соответствующий взвешивающий коэффициент для данного излучения W_R

$$D_{\text{экв},T,R} = W_R \cdot D_{\text{погл},T},$$

где: $D_{\text{погл},T}$ – средняя поглощенная доза в органе или ткани T ;
 W_R – взвешивающий коэффициент для излучения R .

Характеристики поля излучения

Значения коэффициента W_R для излучений различных видов с неизвестным энергетическим составом:

Рентгеновское и γ -излучение, электроны, позитроны, β -излучение

1

Нейтроны с энергией *меньше 20 кэВ*

3

Нейтроны с энергией 0,1–10 МэВ

10

Протоны с энергией *меньше 10 Мэв*

10

α -излучение с энергией *меньше 10 МэВ*

20

Тяжелые ядра отдачи

20

Характеристики поля излучения

Если поле излучения состоит из нескольких излучений с различными величинами W_R , то эквивалентная доза определяется в виде:

$$D_{\text{экв},т} = \sum_R W_R \cdot D_{\text{погл},T,R} \cdot \frac{[\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}]}{[\text{Зв}]}$$

1 Зв – единица эквивалентной дозы любого вида излучения в биологической ткани, которое создает такой же биологический эффект, как и поглощенная доза в 1 Гр образцового рентгеновского излучения.

Внесистемная единица эквивалентной дозы – биологический эквивалент рада (бэр). 1 бэр – это количество энергии любого вида излучения, поглощенного в биологической ткани, биологическое действие которого эквивалентно действию 1 рад рентгеновского или γ -излучения; 1 Зв = 100 бэр.

Характеристики поля излучения

Разные органы и ткани имеют разные чувствительности к излучению, поэтому для случаев неравномерного облучения разных органов или тканей тела человека было введено понятие эффективной дозы.

Доза эффективная $D_{эф}$ – величина, используемая как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы в органе $H_{T,T}$ на соответствующий коэффициент для данного органа или ткани:

$$D_{эф} = \sum_T W_T D_{экр,T}, \quad [\text{Дж кг}^{-1}] = [\text{Зв}]$$

где: $D_{экр,T}$ – эквивалентная доза в ткани T ;

W_T – взвешивающий коэффициент для ткани T .

Характеристики поля излучения

Параметр W_T определяет взвешенный риск облучения данного органа по отношению к взвешенному риску облучения всего организма, т.е. представляет отношение вероятности возникновения стохастических эффектов в результате облучения какого-либо органа или ткани к вероятности их возникновения при равномерном облучении всего тела. При этом сумма всех взвешивающих коэффициентов $\sum W_T = 1$.

Значения взвешивающих коэффициентов W_T для отдельных видов тканей и органов

Гонады

0,2

Красный костный мозг

0,12

Легкие, желудок, грудная и щитовидная железа

0,05

Кожа

0,01

Характеристики поля излучения

На практике, особенно при широком использовании атомной энергии, возникает необходимость оценивать меру ожидаемого эффекта при облучении большого контингента людей – персонала или населения.

Доза эффективная коллективная $D_{\text{эф,кол}}$ – величина, определяющая полное воздействие излучения на группу людей, определяется в виде:

$$D_{\text{эф,кол}} = \sum_{i=1}^{\infty} D_{\text{эф},i} N_i,$$

где: $D_{\text{эф},i}$ – средняя эффективная доза i -й подгруппы группы людей, N_i – число людей в подгруппе, получивших эффективную дозу.

Единица измерения эффективной коллективной дозы – человеко-зиверт (чел.-Зв), внесистемная единица – человеко-бэр (чел.-бэр).

Характеристики поля излучения

Мощность дозы $P_{п,эксп,эв,эф}$ (соответственно поглощенной, экспозиционной, эквивалентной или эффективной) представляет собой приращение дозы за малый промежуток времени dD , деленное на этот промежуток dt .

$$P = dD / dt$$

Единицы:

мощности поглощенной дозы

$$[\text{Гр/с}] = [\text{Дж}/(\text{с} \cdot \text{кг})] = [\text{Вт/кг}] \text{ или } [\text{рад/с}]$$

мощности экспозиционной дозы

$$[\text{А/кг}] \text{ или } [\text{Р/с}]$$

мощности эквивалентной и эффективной дозы

$$[\text{Зв/с}] \text{ или } [\text{бэр/с}]$$

Характеристики поля излучения

Физический смысл керма-постоянной – мощность поглощенной дозы, создаваемая в вакууме γ -излучателем точечного изотропно-излучающего источника с энергией больше заданного порогового значения δ активностью 1 Бк на расстоянии 1 м.

Единица керма-постоянной в СИ

[Гр · м²/(с Бк)]

Зная керма-постоянные, активности радионуклидов и расстояния от источника до детектора легко из формулы определить мощность воздушной поглощенной дозы:

$$P = A \cdot \Gamma \delta / R^2$$