

## Dozimetrické veličiny a jednotky

Podľa oblastí, ktoré tieto veličiny popisujú ich delíme do 5 skupín (výpočet veličín nie je úplný):

### 1. Veličiny charakterizujúce zdroje ionizujúceho žiarenia

- **Aktivita** – počet rádioaktívnych premien v rádioaktívnom materiále za jednotku času, jednotka: Bq - počet rozpadov za sekundu, tj.  $s^{-1}$ .  
Mimosústavová jednotka:  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ , čo odpovedá počtu rozpadov v  $1 \text{ g } ^{226}\text{Ra}$  (Ci je zakázaná jednotka).
- Celkový tok častíc alebo **emisia zdroja**  $\Phi_p = \frac{dN}{dt}$  je počet emitovaných častíc dN za časový interval dt, jednotka  $s^{-1}$ . Je obecnější veličina, použiteľná aj pre iné ako rádionuklidové zdroje žiarenia.

### 2. Veličiny charakterizujúce pole ionizujúceho žiarenia

- Hustota prechádzajúcich častíc alebo **fluencia častíc**  $\Phi = \frac{dN}{da}$  je celkový počet častíc, ktoré vstúpili do gule o infinitezimálnom objeme dN delený hlavným rezom tejto gule da.

### 3. Veličiny charakterizujúce interakciu ionizujúceho žiarenia s látkou

a. Interakčné súčinitele nepriamo ionizujúceho žiarenia

- **Lineárny súčiniteľ zoslabenia** (zväzku)  $\mu = \frac{1}{N} \frac{dN}{dl}$ , kde N je počet nepriamo ionizujúcich častíc

dopadajúcich kolmo na vrstvu látky o hrúbke dl, dN je počet interakcií v tejto vrstve.

Fyzikálne je  $\mu$ : relatívna zmena počtu častíc odstránených na jednotkovej dĺžke.

- **Lineárny súčiniteľ prenosu energie** charakterizuje prenos energie fotónov na elektróny v látke.

$$\mu_k = \frac{1}{E} \frac{dE_k}{dl}, \text{ kde } dE_k \text{ je súčet kinetických energií všetkých nabitých častíc, uvoľnených vo vrstve látky}$$

o hrúbke dl, E je súčet energií fotónov dopadajúcich na vrstvu látky

Fyzikálne je  $\mu_k$ : podiel energie energie fotónov odovzdané sekundárnym nabitým časticiam na jednotkovej dráhe.

b. Interakčné súčinitele priamo ionizujúceho žiarenia

Veľký rozdiel medzi intrakciou nenabitých (nepriamo ionizujúcich) a nabitých častíc.

Nenabité častice – diskretný charakter intrakcie

- ▶ podstatná strata energie v jedinej zrážke

nabité častice – straty energií v interakcii sú malé a zrážky veľmi časté

- ▶ “spojitá strata energie“.

- **Celková lineárna brzdná schopnosť**  $S = \frac{dE}{dl}$  je strata energie nabitej častice na jednotku dĺžky jej dráhy,

[S]  $\text{Jm}^{-1}$

Celková lineárna brzdná schopnosť S má dve zložky (zrážkovú a žiarivú)

$$S = \left(\frac{dE}{dl}\right)_c + \left(\frac{dE}{dl}\right)_r = S_c + S_r$$

$S_c$  lineárna zrážková brzdná schopnosť

$S_r$  lineárna žiarivá brzdná schopnosť, straty spôsobené brzdným žiarením. Pre mäkké tkanivo sú malé pre nízke energie. Rastú so vzrastom energie a protónového čísla prostredia.

Pre elektróny a mäkké tkanivo  $S_c = S_r$  pre 85 MeV,

pre olovo  $S_c = S_r$  pre 8,4 MeV.

- **Lineárny prenos energie** (obmedzená lineárna zrážková brzdná schopnosť)

Nabité častice odovzdávajú svoju energiu v diskretných aktoch – dochádza k ionizácii a excitácii molekúl ožiarenej látky. Poloha týchto molekúl je určená dráhou primárnej častice. Biologické účinky (uhynutie buniek i genetické mutácie) závisia na hustote ionizácie, tj. na priestorovom rozložení dielčích prenosov energie jednotlivými ionizujúcimi časticami na ožiarenú látku. Na charakterizovanie rôznych druhov žiarenia, z hľadiska

hustoty ionizačných a excitačných strát sa zavádza pojem lineárneho prenosu energie (je definovaný pre nabitú časticu)  $\equiv$  obmedzená lineárna zrážková brzdná schopnosť

$$L_{\Delta} = \left( \frac{dE}{dl} \right)_{\Delta}$$

Je to podiel energie  $dE$  (stredná strata energie spôsobená zrážkami) na dráhe  $dl$ , pri ktorých dochádza k prenosu energie menšej ako daná obmedzujúca hodnota  $\Delta$ .

Oproti celkovej brzdnaj schopnosti sú tu dve obmedzenia:

- 1) započítava len straty v zrážkach (nie aj žiarivé),
- 2) započítava len tie straty, ktoré sú menšie ako  $\Delta$  v jednej zrážke. To ohraničuje energiu sekundárnych elektrónov, ktoré vznikajú ionizáciou molekúl (napr.  $L_{100}$  znamená, že sa započítavajú len energetické straty z tých zrážok, kde energia odovzdaná elektrónom nepresahuje 100 eV. Ak je  $\Delta$  pod hranicou energie, keď elektrón môže sám ionizovať ( $\delta$  - elektróny) energia častice sa odovzdá v blízkosti jej stopy. Veľká hodnota  $L_{\Delta}$  potom znamená vysokú hustotu ionizovaných molekúl. Biologický účinok rôznych druhov žiarenia závisí práve od tejto hustoty a teda od hodnoty  $L_{\Delta}$ .

Je jasné, že:

- 1)  $L_{\infty} = L = S_c$  tj. celková lineárna zrážková brzdná schopnosť,
- 2)  $L_{\Delta}$  je definované pre nabitú časticu. Používa sa aj pre charakterizovanie biologických účinkov nepriamo ionizujúceho žiarenia, pričom sa myslí  $L_{\Delta}$  sekundárnych častíc, ktoré vznikajú pri interakcii tohto žiarenia s látkovým prostredím.

#### 4. Veličiny charakterizujúce pôsobenie žiarenia na látku

• **Dávka**  $D = \frac{d\bar{E}}{dm}$  je stredná energia odovzdaná v elemente o hmotnosti  $dm$ .

Jednotka  $\text{Jkg}^{-1} = \text{Gray (Gy)}$ . Stará (zakázaná) jednotka  $\text{rad} = 10^{-2} \text{Gy}$

Dávka charakterizuje absorpciu energie v látke (elemente), nehovorí o interakcii primárneho žiarenia v elemente.

Veličina, ktorá charakterizuje nepriamo ionizujúce žiarenie z hľadiska energetických strát primárnych častíc je

• **Kerma**  $K = \frac{dE_k}{dm}$  (*Kinetic Energy Released in Material*) Kinetická energia uvoľnená v materiále.

$dE_k$  je súčet počiatkových energií častíc uvoľnených nepriamo ionizujúcim žiarením v objemovom elemente o hmotnosti  $dm$ . Jednotka:  $\text{Jkg}^{-1}$

Kerma je definovaná len pre nepriamo ionizujúce žiarenie.

Rozdiel medzi  $K$  a  $D$ :  $d\bar{E}$  je energia odovzdaná v objemovom elemente,  $dE_k$  je energia, ktorá sa v objemovom elemente neabsorbuje. Dávka v objemovom elemente závisí na materiále, ktorý ho obklopuje. Kerma v objemovom elemente nezávisí na okolitom materiále

Za určitých okolností sa dá uviesť do vzťahu kerma a dávka.

Ďalšia veličina (už len historicky dôležitá) je definovaná len pre fotónové žiarenie vo vzduchu. Je to

• **Expozícia**  $X = \frac{dQ}{dm}$ , kde  $dQ$  je absolútna hodnota celkového náboja jedného znamienka vytvoreného vo

vzduchu pri úplnom zabrzdení všetkých elektrónov uvoľnených fotónmi v objemovom elemente o hmotnosti  $dm$ . Jednotka: Coulomb na kg,  $\text{Ckg}^{-1}$ . Zakázaná jednotka:  $1\text{R (röntgen)} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{Ckg}^{-1}$ .

Existuje vzťah medzi energiou sekundárnych elektrónov (vystupujúcich v definícii kermy) a množstvom náboja, ktorý vznikne jej úplnou absorpciou. Tento vzťah sprostredkuje stredná energia potrebná na vytvorenie jedného páru elektrón-ión vo vzduchu  $\bar{W}$ .

Platí  $dQ = \frac{dE_k}{\bar{W}} e$ . Vidieť, že expozícia je vlastne inak vyjadrená kinetická energia uvoľnených častíc v

objemovom elemente vzduchu. V tomto zmysle možno povedať, že je to ionizačný ekvivalent kermy pre fotónové žiarenie vo vzduchu. Podobne ako kerma, nezávisí na okolitom materiále.

#### 5. Veličiny používané v ochrane pred žiarením

Z hľadiska biologických účinkov žiadna z doteraz spomínaných veličín nevystihuje účinky ionizujúceho žiarenia na organizmy. K tomuto účelu sa používa

• **Dávkový ekvivalent**

definovaný v súlade s doporučením ICRU z roku 1980 vzťahom  $H = D \cdot Q \cdot N$ , jednotka Sievert, Sv.

$D$  je dávka v príslušnom mieste

Q akostný faktor

N súčin všetkých ďalších modifikujúcich faktorov. Pre vonkajšie ožiarenie človeka sa v súčasnosti doporučuje  $N=1$ , pre vnútorné môže byť  $N \neq 1$ .

Z definície dávkového ekvivalentu vidieť, že H je dávka vážená z hľadiska biologického účinku.

Akostný faktor započítava vplyv mikroskopického rozdelenia dávky na možné biologické účinky, Q závisí na hodnote lineárneho prenosu energie L.

Vysoké L znamená, že žiarenia odovzdáva energiu lokálne v malom objeme a účinok na tkanivo je vyšší ako pre žiarenie s malým L.

Obecne je Q spojitá funkcia L, rôzna pre rôzne tkanivá a ich rôzne poškodenia. Pre praktické použitie to môže znamenať komplikáciu, až znemožnenie výpočtu Q. Používa sa preto priebeh  $Q(L)$  doporučený ICRP 1970.

Odtiaľ vychádza tabuľka

L, keV $\mu\text{m}^{-1}$	3,5	7	23	53	>175
Q	1	2	5	10	20

V praxi je takýto postup: ak nie je známe L žiarenia, použijú sa **konvenčné hodnoty Q**:

Druh žiarenia	Q
elektróny, fotóny $\gamma$ a X	1
tepelné neutróny	2,3
neutróny a protóny s neznámou energiou	10
častice $\alpha$ a iné ťažké častice s neznámou energiou	20

Takto zavedené hodnoty Q pre celé telo, zjednodušia výpočet H (za cenu väčšej nepresnosti). Využíva sa princíp nadhodnotenia H (konzervatívny princíp).

Pre potreby radiačnej ochrany sa zavádza pojem

- **Efektívne dávka**

Ak by sme počítali dávkový ekvivalent pri celotelovom ožiarení, postupovali by sme tak, že dávkové ekvivalenty v rôznych tkanivách a orgánoch  $H_{Ti}$ , by sme sčítavali s váhovými faktormi jednotlivých tkanív a orgánov. Postavenie jednotlivých tkanív a orgánov v organizme je rôzne a váhové faktory  $W_{Ti}$  vyjadrujú mieru závažnosti ožiarenia orgánu.

Efektívny dávkový ekvivalent, takto vyjadrený pomocou dávkových ekvivalentov  $H_{Ti}$  jednotlivých orgánov je

$$H_E = \sum_i W_{Ti} \cdot H_{Ti}$$

Váhové faktory vychádzajú z relatívneho rizika stochastických účinkov

napr. $W_{Ti}$ pre:	gonády	0,20	$\sum W_{Ti} = 1$
	kostnú dreň	0,12	
	štitnu žľazu	0,05	
	kožu	0,01	

Takto určený efektívny dávkový ekvivalent sa nazýva **efektívna dávka**.

V tejto veličine sa udáva aj limit pre ožiarenie, ktorý je základom v ochrane pracovníkov (20 mSv ročne) a obyvateľstva.

Pre účely ochrany skupiny ľudí sa zavádza efektívna dávka pre vymedzenú skupinu (alebo celú populáciu) t.j. súčet efektívnych dávok  $H_E$  jej jednotlivcov a nazýva sa

- **kolektívna efektívna dávka** (kolektívny dávkový ekvivalent)  $S = \sum H_{Ei}$

Takto definovaná efektívna dávka sa nedá priamo merať, pre účely kontroly ožiarenia vonkajším ožiarením sa zavádza

- **Hĺbkový** (penikavý) dávkový ekvivalent  $H_{p(10)} \equiv$  dávkový ekvivalent v mäkkom tkanive v hĺbke 10 mm. Meria sa detektorom na povrchu tela prekrytým 10mm tkaňovo-ekvivalentného materiálu. Hodnotí ožiarenie hlbšie uložených orgánov v trupe a hlave. V prvom priblížení  $H_E = H_{p(10)}$ . Ročný limit  $H_{p(10)}$  je preto rovnaký ako pre  $H_E$

- **Povrchový** dávkový ekvivalent  $H_{s(0,07)} \equiv$  dávkový ekvivalent na povrchu tela v hĺbke 0,07 mm.

Meria sa detektorom na povrchu tela s prekrytím 0,07 mm tkaňovo-ekvivalentného materiálu.

$H_{p(10)}$  a  $H_{s(0,07)}$  hodnotia vonkajšie ožiarenie.

Pre hodnotenie vnútorného ožiarenia (z príjmu nuklidov) sa zavádza

- **50-ročný úväzok dávkového ekvivalentu**  $H_{50} \equiv$  dávkový ekvivalent spojený s príjmom rádionuklidu, akumulovaný počas jeho zadržovania v organizme, až do 50 rokov od príjmu.