

3. Meranie expozície, expozičnej rýchlosti, dávky a dávkovej rýchlosti

1. Všeobecná časť

V súčasnej epoche technického rozvoja sa čoraz viac využívajú poznatky jadrovej fyziky. S ionizujúcim žiarením sa stretávame v mnohých odvetviach ľudskej činnosti. V technike a priemysle je to röntgenová diagnostika a defektoskopia, v poľnohospodárstve ožiarenie kultúr za účelom ich šľachtenia a sterilizácie, ionizujúce žiarenie sa využíva aj na konzervovanie potravín, v medicíne pri röntgenovej diagnostike, sterilizácii nástrojov, pri používaní značkových nuklidov a v onkologickej terapii. V jadrovofyzikálnych laboratóriách sa ionizujúce žiarenie vyskytuje pri prevádzke rôznych typov urýchľovačov a iných zariadení, ktorých súčasťou sú zdroje žiarenia. So všetkými druhmi žiarenia sa stretávame aj pri prevádzke jadrovoenergetických zariadení. To znamená, že čoraz viac ľudí prichádza priamo aj nepriamo do styku s ionizujúcim žiarením. Aby ľudia a ich okolie neboli vystavení nebezpečenstvu, ktoré ionizujúce žiarenie môže spôsobiť, treba zabezpečiť ich ochranu. Preto treba mať dostatočné vedomosti o vlastnostiach tohto žiarenia, o jeho účinkoch na biologické objekty a najmä o spôsoboch jeho merania. Meraním rôznych vlastností ionizujúceho žiarenia a parametrov zdrojov žiarenia sa zaoberá dozimetria.

V dozimetrii sa stretávame s týmito veličinami a jednotkami:

Aktivita A nejakého telesa z rádioaktívneho prvku (nuklidu) je diferenciálny podiel počtu rádioaktívnych premien N a času t :

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (3.1)$$

Aktivita je úmerná počtu rádioaktívnych jadier: $A = \lambda N$, kde λ je premenová (rozpadová) konštanta, ktorá s polčasom premeny $T_{1/2}$ súvisí podľa vzťahu $\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$.

Keďže λ je pre daný druh žiarenia konštanta, aktivita bude závisieť iba od počtu rádioaktívnych jadier, preto jej veľkosť bude s časom exponenciálne klesať tak, ako klesá počet rádioaktívnych jadier. Aktivita v čase t sa bude rovnať:

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} \quad (3.2)$$

kde A_0 je počiatková aktivita, t.j. aktivita v čase $t = 0$.

Hlavnou jednotkou aktivity A je 1 recipročná sekunda = 1 s^{-1} . Hlavná jednotka aktivity má názov becquerel (Bq); $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$.

Pojem dávka (absorbovaná dávka) bol zavedený na určenie účinkov žiarenia v ľubovoľnej látke. Dávka D nejakého ionizujúceho žiarenia je podiel strednej energie $d\bar{\epsilon}$ ionizujúceho žiarenia, absorbovanej objemovým elementom s hmotnosťou dm látky obsiahnutej v tomto elemente:

$$D = \frac{d\bar{\epsilon}}{dm} \quad (3.3)$$

Hlavnou jednotkou dávky je joule na kilogram = $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Jej názov je gray (Gy); $\text{Gy} = \text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Dávkový príkon \dot{D} je časová zmena dávky D :

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (3.4)$$

Hlavnou jednotkou dávkového príkonu je joule za sekundu na kilogram = $\text{J} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Ožiarenie (expozičia) X je podiel strednej hodnoty súčtu elektrických nábojov dQ všetkých iónov s rovnakým znamienkom vzniknutých v nejakom množstve vzduchu (po dolete všetkých elektrónov, t.j. negatrónov a pozitronov), uvoľnených dopadajúcimi fotónmi γ v objemovom elemente vzduchu s hmotnosťou dm tohto objemu vzduchu.

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (3.5)$$

Hlavnou jednotkou ožiarenia je coulomb na kilogram ($\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$). Táto jednotka nemá názov.

Ožarovací (expozičný) príkon \dot{X} je časová zmena ožiarenia:

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \quad (3.6)$$

kde dX znamená strednú hodnotu prírastku ožiarenia v časovom intervale dt . Hlavnou jednotkou ožarovacieho príkonu je coulomb na kilogram za sekundu = ampér na kilogram.

Uvedené jednotky charakterizujú energetické a ionizačné účinky žiarenia, avšak nezohľadňujú rozdielne biologické účinky jednotlivých druhov žiarenia. Preto bola zavedená ďalšia dozimetrická veličina, dávkový ekvivalent H , ktorá vyjadruje aj biologické účinky žiarenia.

Dávkový ekvivalent H v ľubovoľnom mieste biologického väziva je daný vzťahom:

$$H = \sum \omega_R D_{T,R} \quad (3.7)$$

kde $D_{T,R}$ je absorbovaná dávka v biologickom väzive T , ω_R - radiačný váhový faktor, vyjadrujúci biologický účinok žiarenia druhu R . Hodnoty radiačného váhového faktora ω_R sú uvedené v tab. č. 3.1.

Hodnoty radiačného váhového faktora ω_R

Tab. 3.1

Druh žiarenia a jeho energia	ω_R
Fotóny všetkých energií	1
Elektróny všetkých energií	1
Neutróny	
< 10 keV	5
10 keV – 100 keV	10
100 keV – 2 MeV	20
2 MeV – 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protóny > 2 MeV	5
α – častice, fragmenty, ťažké jadrá	20

Názov hlavnej jednotky dávkového ekvivalentu je sievert (Sv); $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J.kg}^{-1}$. V zmysle u nás platných predpisov (Vyhláška Ministerstva zdravotníctva č. 12 z 13. decembra 2000, uverejnená v Zbierke zákonov č.12/2001) odvodených od doporučení Medzinárodnej komisie pre rádiologickú ochranu ICRP č. 60, sú limity ožiarenia, platné v SR nasledovné:

1) Limity ožiarenia pracovníkov so zdrojmi ionizujúceho žiarenia:

a) efektívna dávka 100 mSv počas piatich za sebou nasledujúcich kalendárnych rokov, pričom efektívna dávka v žiadnom kalendárnom roku nesmie prekročiť 50 mSv,

- b) ekvivalentná dávka v očnej šošovke 150 mSv v kalendárnom roku,
- c) ekvivalentná dávka v koži 500 mSv v kalendárnom roku, ktorá sa stanovuje ako priemerná dávka na ploche 1 cm² najviac ožiarenej kože bez ohľadu na veľkosť ožiarenej plochy kože,
- d) ekvivalentná dávka v rukách od prstov až po predlaktie a v nohách od chodidiel až po členky 500 mSv v kalendárnom roku.

2) Limity ožiarovania obyvateľov:

- a) efektívna dávka 1 mSv v kalendárnom roku,
- b) ekvivalentná dávka v očnej šošovke 15 mSv v kalendárnom roku,
- c) ekvivalentná dávka v koži 50 mSv v kalendárnom roku, ktorá sa stanovuje ako priemerná dávka na ploche 1 cm² najviac ožiarenej kože bez ohľadu na veľkosť ožiarenej plochy kože.

Ak poznáme aktivitu žiarenia A , vzdialenosť zdroja žiarenia od ožarovaného objektu l a čas ožarovania t , môžeme určiť veľkosť expozície v [C.kg⁻¹] podľa vzťahu:

$$X = \Gamma \frac{At}{l^2} \quad (3.8)$$

alebo expozičný príkon v [C.kg⁻¹.s⁻¹]:

$$\dot{X} = \Gamma \frac{A}{l^2} \quad (3.9)$$

Konštantu Γ vo vzťahu (3.9) nazývame ožarovacou konštantou expozičnej výdatnosti. Vyjadruje expozičnú charakteristiku poľa žiarenia γ bodového, izotropne vyžarujúceho žiariča daného rádionuklidu pri konštantných hodnotách A a l . Konštanta Γ zohľadňuje počet rôznych energetických skupín fotónov γ na jeden rozpad daného rádionuklidu. Jej rozmer je [C.m².kg⁻¹]. Hodnoty Γ pre niektoré rádionuklidy sú v tab. 3.2.

Medzi dávkou vo vzduchu D_{vzd} a ožiarovaním (expozičiou) X platí vzťah:

$$D_{vzd} \cong \frac{W_{vzd}}{e} X \quad (3.10)$$

kde W_{vzd} je stredná energia ionizácie vo vzduchu a e je náboj jedného iónu.

Keďže náboj jedného iónu je $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$, jedna jednotka expozície vytvorí v 1 kg vzduchu $6,242 \cdot 10^{18}$ iónov. Na vytvorenie jedného iónu sa vo vzduchu spotrebuje asi 34 eV. Na vytvorenie spomínaného počtu iónov sa spotrebuje energia 34 J. Pre vzduch teda platí:

$$1 \text{ C.kg}^{-1} \sim 34 \text{ J.kg}^{-1} \sim 34 \text{ Gy}$$

Hodnoty ožarovacej konštanty expozičnej výdatnosti pre niektoré rádionuklidy

Tab. 3.2

Nuklid	$\Gamma \cdot 10^{-20} [\text{C.m}^2.\text{kg}^{-1}]$
^{24}Na	351
^{40}K	15
^{52}Mn	348
^{60}Co	249
^{88}Rb	65,20
^{129}I	0,38
^{137}Cs	62,8
^{226}Ra	175

2. Zadanie

Našou úlohou bude stanoviť expozíciu (expozičný príkon) a dávku (dávkový príkon), ktorú spôsobí žiarič fotónov γ v rôznych vzdialenostiach od žiariča. Podľa vzťahu (3.9) vypočítame expozičný príkon v zadaných vzdialenostiach a stanovíme dávkový príkon. Zmeriame expozičný a dávkový príkon v týchto bodoch a porovnáme ho s vypočítanými hodnotami. Prípadnú odchýlku zdôvodníme.

3. Literatúra

[1] Topoľský, J.: Radiačná bezpečnosť a dozimetria. Bratislava, ES SVŠT 1986.

[2] ČSN 34 1730