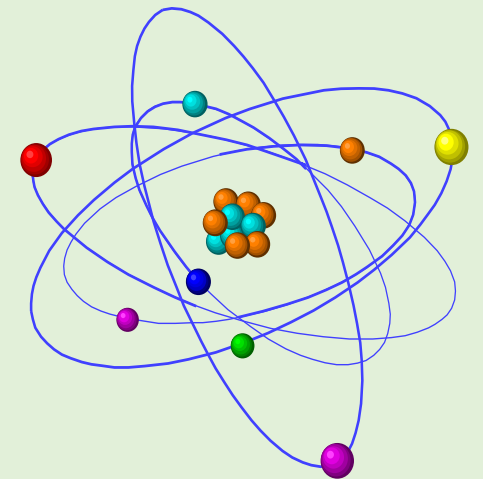


# Dôležité veličiny v radiačnej ochrane

**prof. RNDr. Ľubomír Mátel, CSc.**

**matel.lubomir@gmail.com**



## Na začiatok všeobecne: Čo je žiarenie?



- **Žiarenie je energia, ktorá sa prenáša medzi miestami vo forme elektromagnetických vln alebo vysokorýchlostných časticiach.**
- **Jednoducho povedané, je to emisia a prenos energie.**



**Zbierka zákonov SR - 87/2018 Z. z. znenie 15.04.2023:**

**ionizujúce žiarenie je žiarenie prenášajúce energiu vo forme častíc alebo elektromagnetických vln s vlnovou dĺžkou 100 nm alebo kratšou alebo s frekvenciou  $3 \cdot 10^{15}$  Hz alebo vyššou, ktoré má schopnosť priamo vytvárať ióny alebo nepriamo vytvárať ióny.**

**Resp.:**

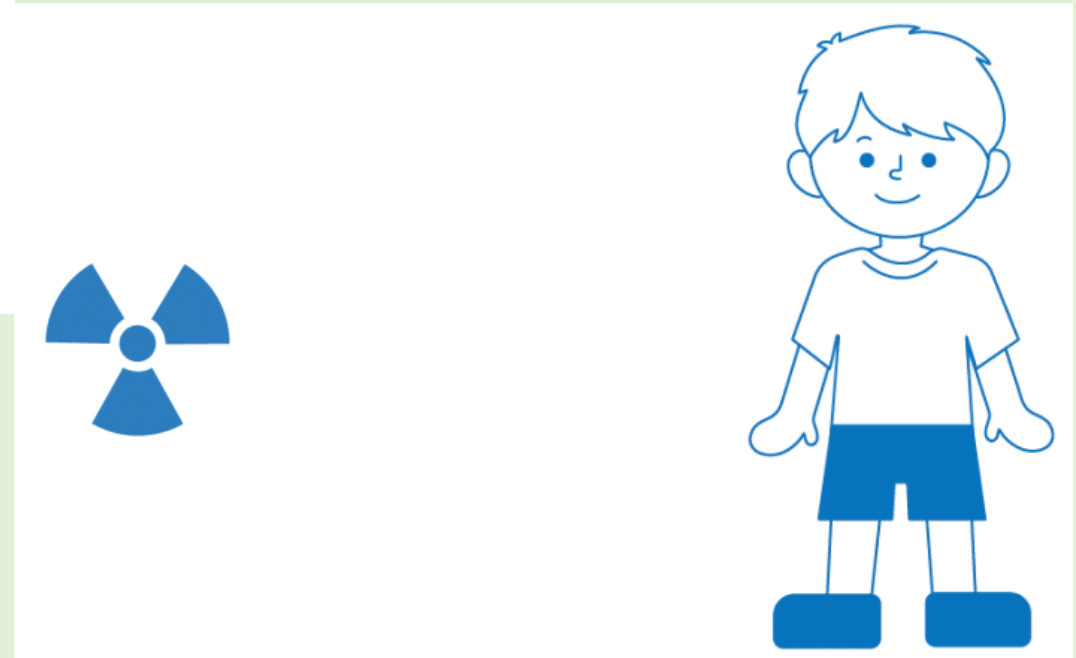
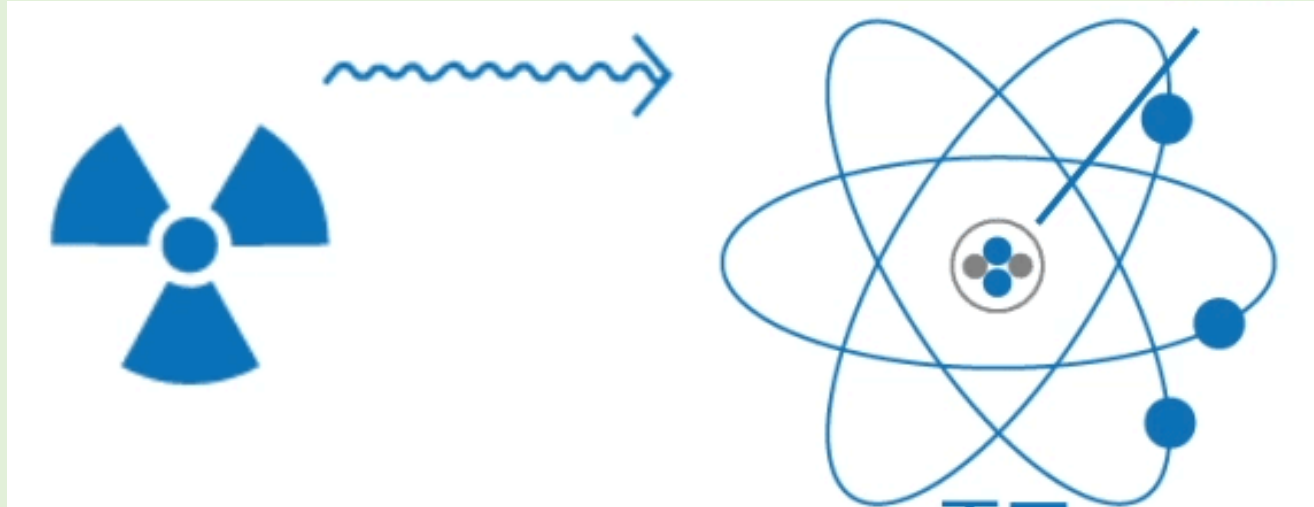
**Ionizujúce žiarenie možno definovať aj ako tok elementárnych častíc alebo kvánt elektromagnetického žiarenia, ktoré vznikajú pri rádioaktívnej premene, jadrových reakciách, zabrzdení nabitých častíc v prostredí, pričom toto žiarenie spôsobuje ionizáciu a/alebo excitáciu atómov alebo molekúl prostredia.**



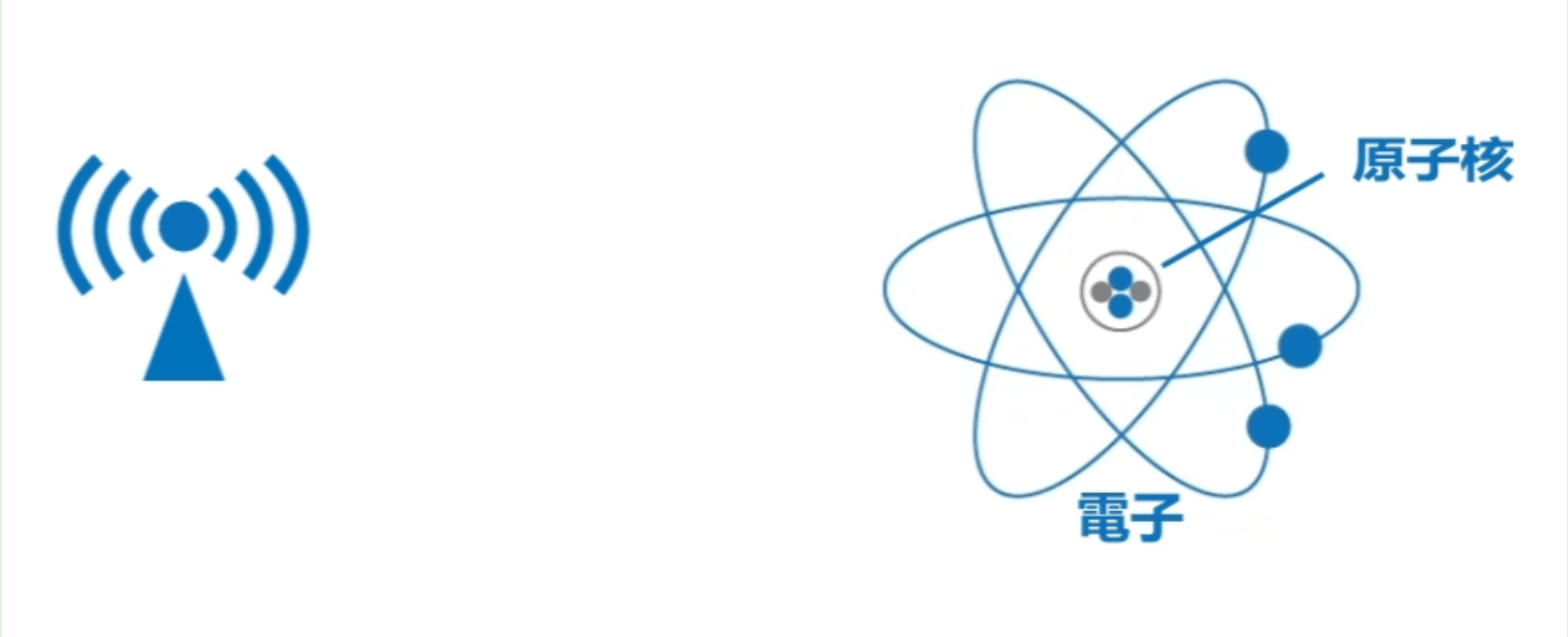
## Na začiatok: čo rozumieme pod žiarením a ionizujúcim žiarením


- **Až do roku 1900 sa termín žiarenie používal na označenie elektromagnetických vln. Od začiatku 20. storočia boli postupne objavené elektróny, röntgenové lúče a prirodzené žiarenie a tieto žiarenia boli tiež zahrnuté do termínu žiarenie. Zatiaľ čo elektromagnetické vlny boli považované výlučne za vlny, novo objavené žiarenie ukázalo vlastnosti častíc. Experimentálne výsledky a teórie potvrdili, že častice majú tiež vlastnosti vln a rozdiel medzi časticami a vlnami sa stal menej dôležitým.**  
**Ionizujúce žiarenie môže pozostávať z častíc, ako sú alfa častice alebo elektróny s veľmi vysokou energiou.**
- **Elektromagnetické žiarenie môže byť tiež ionizujúce, najmä gama žiarenie a röntgenové žiarenie, ktoré sa nachádza v hornej časti energetického spektra elektromagnetického žiarenia.**

**Ionizujúce žiarenie. Ionizačný proces môže spôsobiť chemické zmeny v biologických tkanivách, čím poškodzuje živé organizmy.**



**Neionizujúce žiarenie zahŕňa nízkoenergetické elektromagnetické žiarenie. Nemá dostatok energie na to, aby sa uvoľnili elektróny z atómu.**





**Žiarenie – svetlo  
vyžarované z prskavky**

**Prskavka –  
rádioaktívny  
materiál/zdroj**

Schopnosť  
prskavky  
vyžarovať svetlo  
je "rádioaktivita"

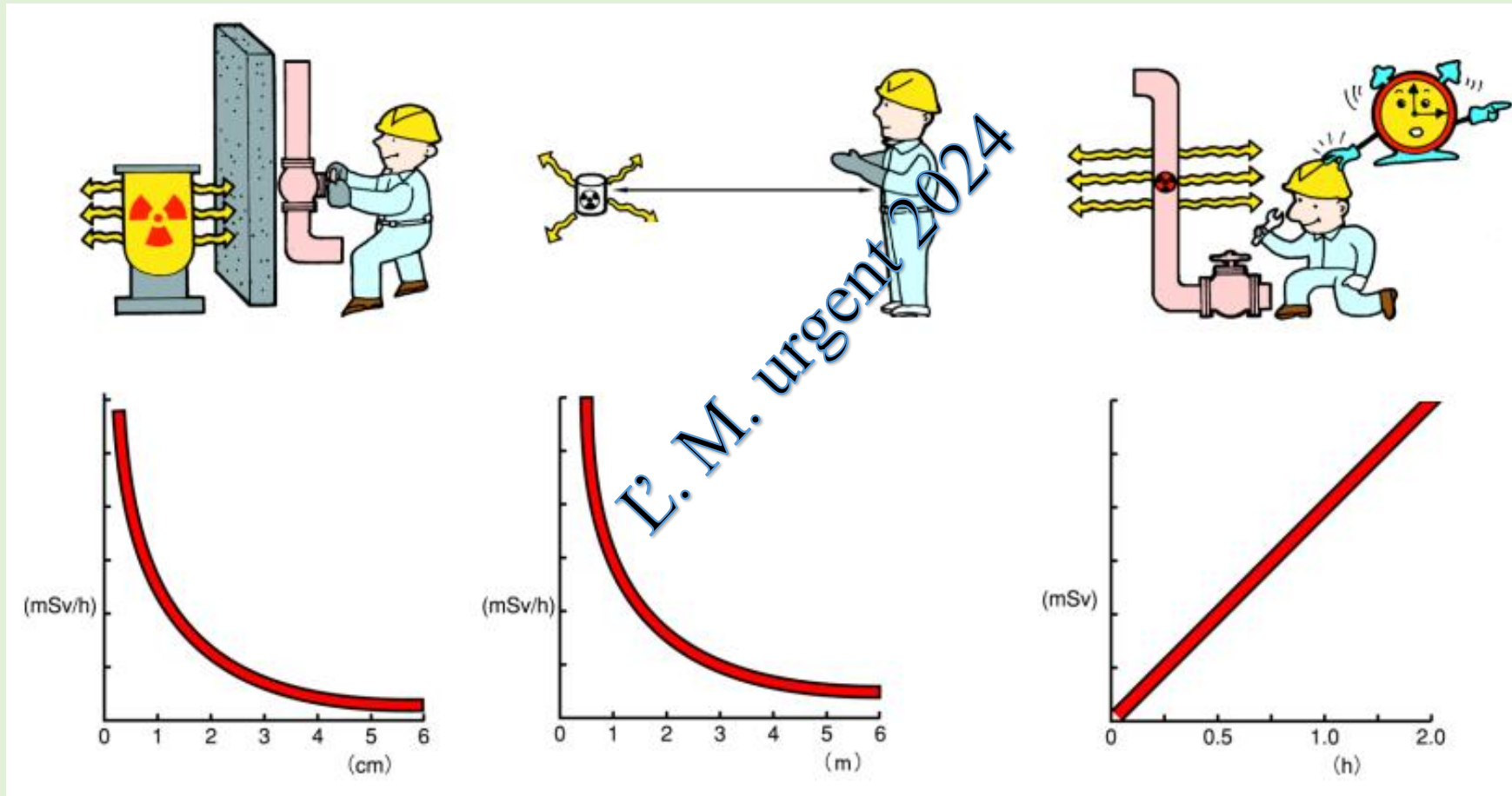
## Čo je radiačná ochrana?

- **radiačná ochrana je systém technických opatrení alebo organizačných opatrení na obmedzenie ožiarenia fyzických osôb pred účinkami ionizujúceho žiarenia (87/2018 Z. z. Zbierka zákonov Slovenskej republiky Strana 5)**
- **radiačná ochrana je súbor opatrení prijatých na zabezpečenie ochrany človeka a jeho životného prostredia pred škodlivými účinkami ionizujúceho žiarenia.**
- *radiačná ochrana je veda a prax ochrany ľudí a životného prostredia pred škodlivými účinkami ionizujúceho žiarenia ([Čo je radiačná ochrana - definícia \(radiation-dosimetry.org\)](#))*
- ***"Ochrana ľudí pred škodlivými účinkami vystavenia ionizujúcemu žiareniu a prostriedky na dosiahnutie tohto cieľa"(IAEA)***





# Ochrana pre ionizujúcim žiarením (tínenie, vzdialenosť, čas)



## Čo je dobré si pamätať/nezabudnúť!

- **Pravidlo 7/10 na odhad radiačného rizika**

**Okamžitý spad pozostáva z častíc, ktoré sú kontaminované hlavne, ale nie úplne, produktmi štiepenia. Spôsob, akým sa príkon dávky/aktivita z pevného množstva skutočnej zmesi časom znižuje, možno získať z tohto približného pravidla: za každé sedemnásobné predĺženie času po výbuchu sa príkon dávky/aktivita desaťnásobne zníži. Napríklad, ak sa ako referenčný bod vezme dávka žiarenia 1 hodinu po výbuchu, potom 7 hodín po výbuchu sa dávkový príkon zníži na jednu desatinu; v  $7 \times 7 = 49$  hodín (alebo zhruba 2 dni) to bude jedna stotina; a pri  $7 \times 7 \times 7 = 343$  hodín (alebo zhruba 2 týždne) bude dávkový príkon/aktivita jedna tisícina 1 hodinu po výbuchu.**

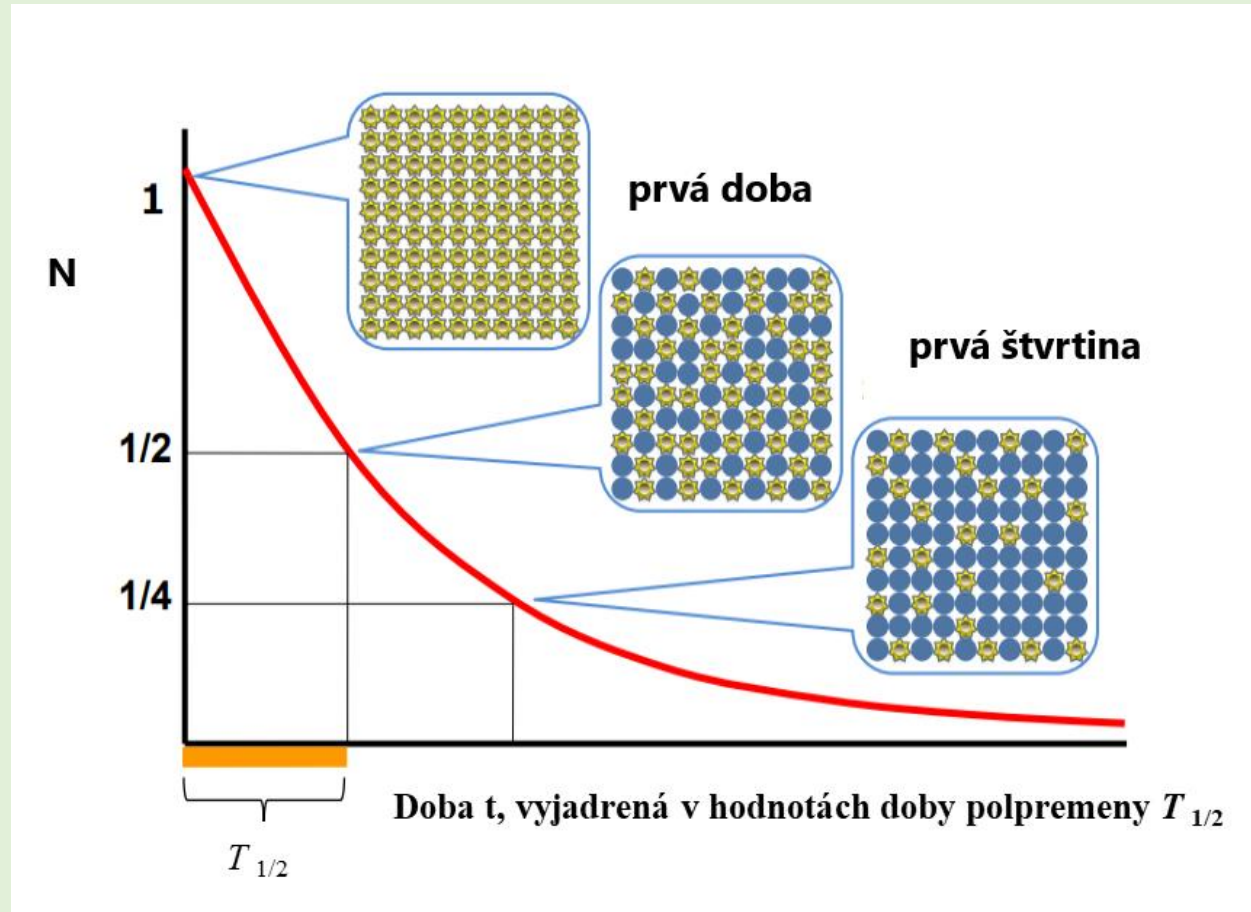


## Ochrana zdravia – čo by sme mali vedieť

- S akými zdrojmi ionizujúceho žiarenia pracujeme t.j. uzatvorené a otvorené žiariče, ich charakteristika (typ rádionuklidu, aktivita, doba polpremeny (fyzikálny polčas), emisia žiarenia, priemyselné medicínske zdroje ...), veličiny a jednotky v radiačnej ochrane.
- Treba si zapamätať: za čas **10 x doba polpremeny ( $T_{1/2}$ )** aktivita zdroja limituje k nulovej hodnote.
- Príklad:
- $^{99m}\text{Tc}$ :  $T_{1/2} = 6,02 \text{ hodín} \times 10 = 60,2 \text{ hodín}$
- $^{99}\text{Tc}$ :  $2,12 \cdot 10^5 \text{ rokov} \times 10 = 2,12 \cdot 10^6 \text{ rokov}$
- $^{32}\text{P}$ :  $T_{1/2} = 14,26 \text{ dní} \times 10 = 140,26 \text{ dní}$
- $^{60}\text{Co}$ :  $T_{1/2} = 5,27 \text{ rokov} \times 10 = 52,7 \text{ rokov}$
- $^{131}\text{I}$ :  $T_{1/2} = 8,025 \text{ dní} \times 10 = 80,25 \text{ dní}$
- $^{137}\text{Cs}$ :  $T_{1/2} = 30,08 \text{ rokov} \times 10 = 300,8 \text{ rokov}$
- $^{239}\text{Pu}$ :  $T_{1/2} = 24 \text{ 110 rokov} \times 10 = 241 \text{ 100 rokov}$

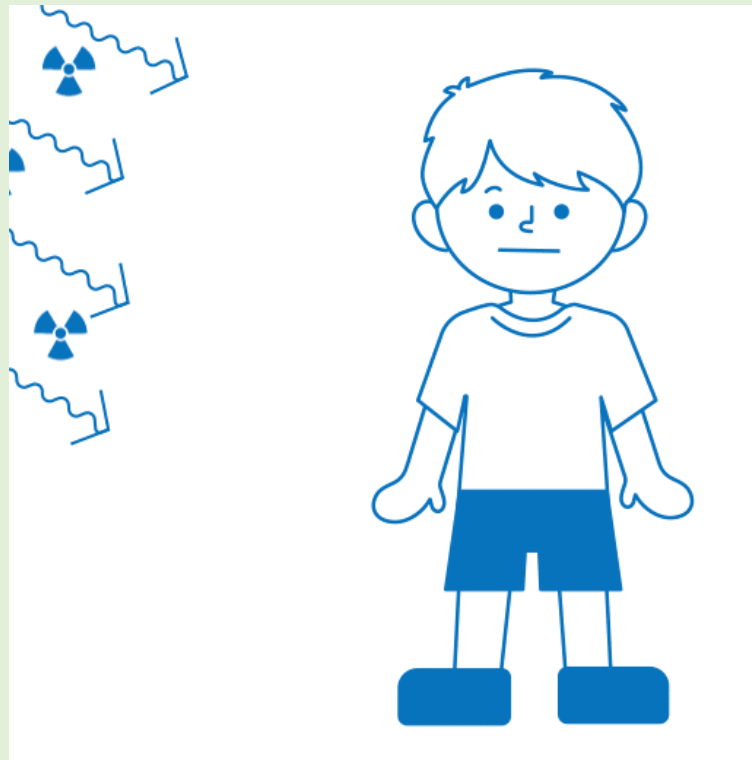


## Doba polpremeny ( $T_{1/2}$ ) – exponenciálny pokles



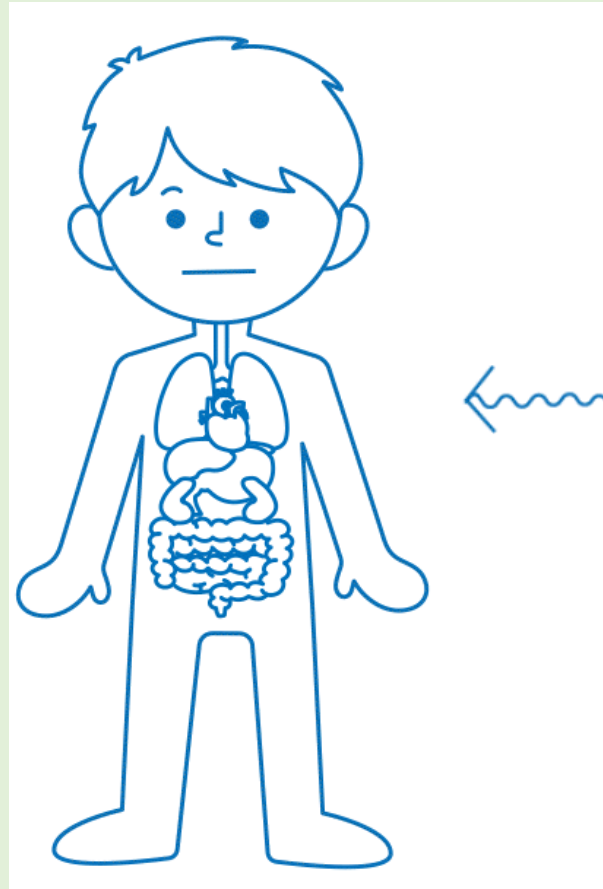
# Absorbovaná dávka, jednotka (Gy - gray)

Absorbovaná dávka je fyzikálna veličina, ktorá meria, koľko energie látka absorbuje po vystavení ionizujúcemu žiareniu. Je použiteľná pre akýkoľvek typ ionizujúceho žiarenia a akúkoľvek látku. Všeobecne platí, že čím väčšia je absorbovaná dávka, tým väčšie je poškodenie. V závislosti od typu žiarenia a podmienok ožarovania môže mať rovnaká absorbovaná dávka úplne odlišné biologické účinky.



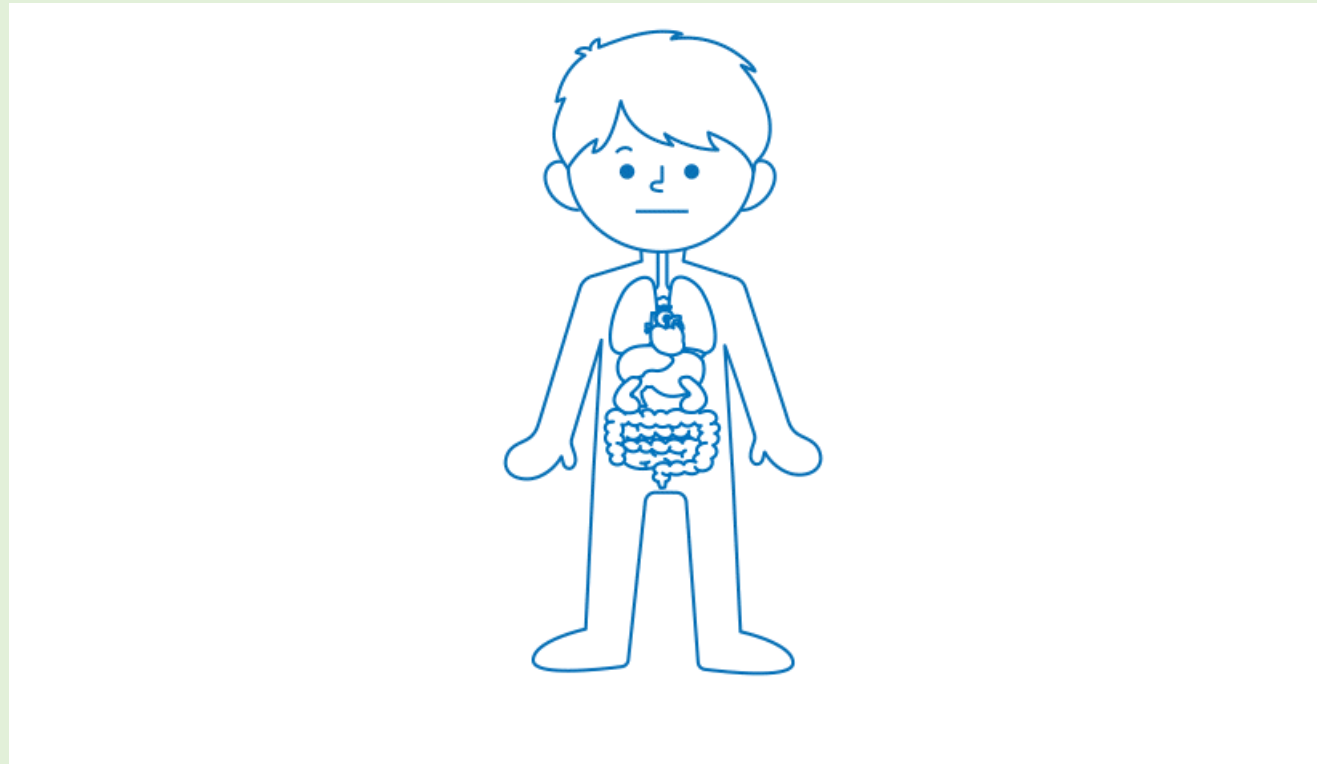
## Ekvivalentná dávka jednotka (Sv- sievert )

Ekvivalentná dávka je mierou účinkov rôznych typov a energií ionizujúceho žiarenia na jednotlivé tkanivá alebo orgány ľudskeho tela.



## Efektívna dávka jednotka (Sv - sievert)

**Efektívna dávka vajadruje celkové poškodenie ľudského tela ionizujúcim žiarením, keď sú súčasne ožiarené viaceré orgány alebo tkanivá.**



- **[§ 15 ods. 3 Limity ožiarenia pracovníka v kalendárnom roku sú: a) efektívna dávka 20 mSv, b) ekvivalentná dávka v očnej šošovke 20 mSv, c) ekvivalentná dávka v koži 500 mSv, vzťahuje sa na priemernú dávku na ploche ľubovoľného 1 cm<sup>2</sup> bez ohľadu na veľkosť ožiarenej plochy kože, d) ekvivalentná dávka v končatinách 500 mSv.**
- **§ 15 ods. 11 Limity ožiarenia obyvateľa v kalendárnom roku sú: a) efektívna dávka 1 mSv, b) ekvivalentná dávka v očnej šošovke 15 mSv, c) ekvivalentná dávka v koži 50 mSv, vzťahuje sa na priemernú dávku na ploche ľubovoľného 1 cm<sup>2</sup> bez ohľadu na veľkosť ožiarenej plochy kože.]**



**Obrázok symbolizuje vzťahy medzi tromi dôležitými veličinami. Počet loptičiek odhodených dievčaťom za sekundu možno porovnať so žiarením pochádzajúcim zo zdroja s aktivitou v Bq (becquerel, počet premien za sekundu); energiu prijatú druhým dievčaťom, ktorá zachytáva čiernu loptičku môžeme vyjadriť v grayoch (Gy, gray - absorbovaná dávka žiarenia); účinky tejto energie v závislosti od hmotnosti loptičky a energie, s ktorou je každá loptička odhodená, môžeme vyjadriť v sievertoch (Sv- účinok vyvolaný absorbovanou dávkou žiarenia).**



## Významnosť veličiny a jednotky známe, možno neznáme?

Čo vlastne znamenajú označenia rem, mR, Gy, Sv.

Pre laika sú to dve, popri prípade tri písmená abecedy. Pre odborníka, alebo zainteresovanú osobu majú veľkú výpovednú hodnotu. Pre ich pochopenie a významnosť trocha z definícií pojmov. *Absorbovaná dávka žiarenia (D)* je energia ionizujúceho žiarenia, absorbovaná v danom mieste ožiarenej látky na jednotku hmotnosti. Jej jednotka sa nazýva Gray (označenie Gy). Menšou jednotkou je  $1\text{mGy} = 1 \cdot 10^{-3}\text{ Gy}$  a  $1\mu\text{Gy} = 1 \cdot 10^{-6}\text{ Gy}$ . Staršou jednotkou bol 1 rad ( $1\text{ rad} = 1 \cdot 10^{-2}\text{ Gy}$ ). **Absorbovaná dávka meraná v jednotkách (Gy) kvantifikuje energiu uloženú na jednotku hmotnosti.**

*Expozícia* je definovaná ako pomer absolútnej hodnoty  $\Delta Q$  celkového elektrického náboja iónov jedného znamienka, ktoré boli uvoľnené pri interakcii fotónov (X, alebo gama) v hmotnostnom elemente vzduchu o hmotnosti  $\Delta m$ , pri úplnom zabrzdení všetkých vzniknutých elektrónov a pozitronov. Jednotkou je coulomb na kilogram ( $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Staršou jednotkou bol 1 Röntgen (**1R je približne 0,01 Gy, resp. 1R  $\approx$  10 mSv** ).

## Ešte niečo chýba, alebo to malo byť na začiatku veličín?

Aktivita, ( $A$ ) je definovaná ako priemerný počet spontánných jadrových premien z daného energetického stavu rádionuklidu za krátky časový interval:

$$A = -\frac{dN}{dt}, \quad A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$$

Hlavnou jednotkou aktivity je becquerel (Bq). Platí  $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$ . Staršou jednotkou bol 1 curie (Ci);  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

Napríklad rádionuklid má aktivitu  $A = 20 \text{ Bq}$ , ak sa v ňom za sekundu premení 20 atómov rádionuklidu.

Pre exponenciálnu rádioaktívnu premenu platí vzťah:

$$A = \lambda \cdot N, \quad \text{kde } \lambda \text{ je konštanta premeny}$$

Konštanta premeny (značka  $\lambda$ , jednotka je  $\text{s}^{-1}$ ) je definovaná ako pravdepodobnosť premeny atómového jadra v malom časovom intervale, delená týmto intervalom:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda \cdot N$$

Veľmi dôležitou veličinou je doba polpremeny  $T_{1/2}$  rádionuklidu, ktorá je definovaná ako priemerný časový interval potrebný na premenu jednej polovice atómov vzorky rádionuklidu. Pre exponenciálnu premenu:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

Pre exponenciálnu rádioaktívnu premenu platí tiež vzťah:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

T.j. množstvo rádioaktívnych jadier  $N$  sa mení s časom podľa exponenciálneho zákona rádioaktívnej premeny, obrázok 2.1. Počet jadier  $dN$ , ktoré sa v čase  $dt$  premienia sú závislé od počtu nepremenených jadier  $N$  v čase  $t$ , od časového intervalu  $dt$  a od konštanty premeny a tento vzťah sa nazýva časový zákon rádioaktívnych premien:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

kde  $N_t$  a  $N_0$  je počet jadier v príslušnom čase ( $t$  a  $t_0$ ).

Pretože aktivita rádioaktívnej látky je úmerná počtu jej atómov, môžeme uvedenú rovnicu napísať aj ako:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \text{ resp. } A_t = A_0 \cdot e^{\frac{-\ln 2 \cdot t}{T_{1/2}}}$$

kde  $A_t$  a  $A_0$  sú aktivity v príslušnom čase ( $t_0$  a  $t$ ).

**Premenová konštanta rádionuklidu, resp. doba polpremeny sú dôležité charakteristiky každého rádionuklidu.**

**V prípade udalosti na jadrovom zariadení, použitia jadrovej zbrane, musíme brať v úvahu rádionuklidy, ktoré sa dostanú ako ich dôsledok do životného prostredia. Sledovanými rádionuklidmi budú najmä  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ .**

**Zoberieme v prvom prípade, teoretickú aktivitu každého uvedeného rádionuklidu rovnú 10 kBq a uvažujeme jej pokles za 100 dní. Doby polpremeny uvedených rádionuklidov sú nasledovné:**

**$^{131}\text{I} - T_{1/2} = 8 \text{ d}$ ,  $^{137}\text{Cs} - T_{1/2} = 30,17 \text{ r}$ ,  $^{134}\text{Cs} - T_{1/2} = 2,1 \text{ r}$ ,  $^{239}\text{Pu} - T_{1/2} = 24\,000 \text{ r}$ ,  $^{90}\text{Sr} - T_{1/2} = 28,1 \text{ r}$ .**

**Aktivita v čase  $t = 100 \text{ d}$  bude mať hodnotu (uvažujeme  $1 \text{ r} = 365 \text{ d}$ ):**

**$^{131}\text{I} - A = 0,00173 \text{ kBq} = 1,73 \text{ Bq}$ ;  $^{137}\text{Cs} - A = 9,94 \text{ kBq}$ ;**

**$^{134}\text{Cs} - A = 9,14 \text{ kBq}$ ;  $^{239}\text{Pu} - A = 9,999 \text{ kBq}$ ;  $^{90}\text{Sr} - A = 9,93 \text{ kBq}$ .**

**(d – dni; r – roky)**

V druhom prípade uvažujeme pokles aktivity v čase  $t = 28$  r, pričom  $^{131}\text{I}$  už netreba uvažovať:

$^{137}\text{Cs} - A = 5,26$  kBq;  $^{134}\text{Cs} - A = 0,00097$  kBq = 0,97 Bq;  $^{239}\text{Pu} - A = 9,999$  kBq;  $^{90}\text{Sr} - A = 5,01$  kBq.

V tretom prípade uvažujeme pokles aktivity v čase  $t = 300$  r, pričom  $^{131}\text{I}$  a  $^{34}\text{Cs}$  už netreba uvažovať:

$^{137}\text{Cs} - A = 0,010$  kBq = 10 Bq;  $^{239}\text{Pu} - A = 9,913$  kBq;  $^{90}\text{Sr} - A = 0,006$  kBq = 6 Bq.

**Z uvedených príkladov poklesu východiskovej aktivity uvažovaných rádionuklidov jednoznačne vyplýva výrazný pokles pri 10-násobku doby polpremeny  $T_{1/2}$ , čo je potrebné a tiež vhodné si zapamätať.**