

A large, glowing mushroom cloud from a nuclear explosion rises from a desert landscape. The cloud has a bright, orange-yellow core and a thick, dark stem. The background shows a vast, arid desert with low mountains under a clear blue sky.

# Rádioaktivita

Dozimetria a absorpcia žiarenia

Spracovali: **Ján Pánik a Daniel Kosnáč**

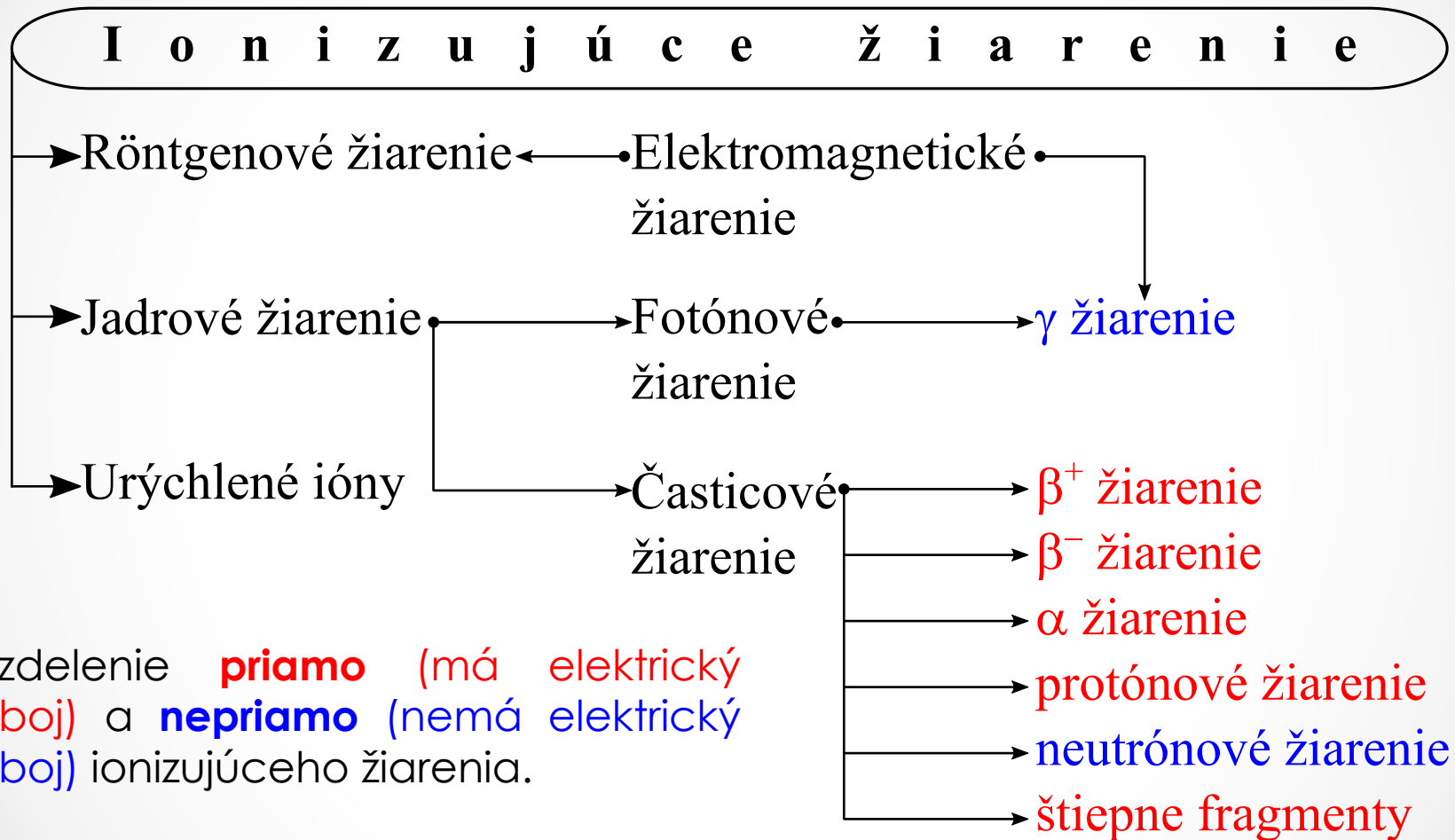
# Obsah

• Čo je rádioaktivita.....	3
• Rozdelenie ionizujúceho žiarenia.....	4
• Rozdelenie elektromagnetického spektra.....	5
• Dozimetria a jej ciele.....	6
• Základy rádioaktivity.....	8
• Ochrana pred žiarením.....	11
• Radiačná dávka.....	12
• Absorbovaná dávka.....	14
• Príkon absorbovanej dávky.....	15
• Ekvivalentná dávka.....	16
• Efektívna dávka.....	17
• Váhové faktory.....	18
• Súhrn.....	19
• Expozícia.....	20
• Biologické účinky žiarenia.....	22
• Detektory ionizujúceho žiarenia.....	27
• Geigerove-Müllerove trubice.....	28
• Scintilačné detektory.....	29
• Filmové dozimetre.....	30
• Termoluminiscenčné a OSL dozimetre.....	31
• Odporúčaná literatúra.....	32
• Použitá literatúra.....	33

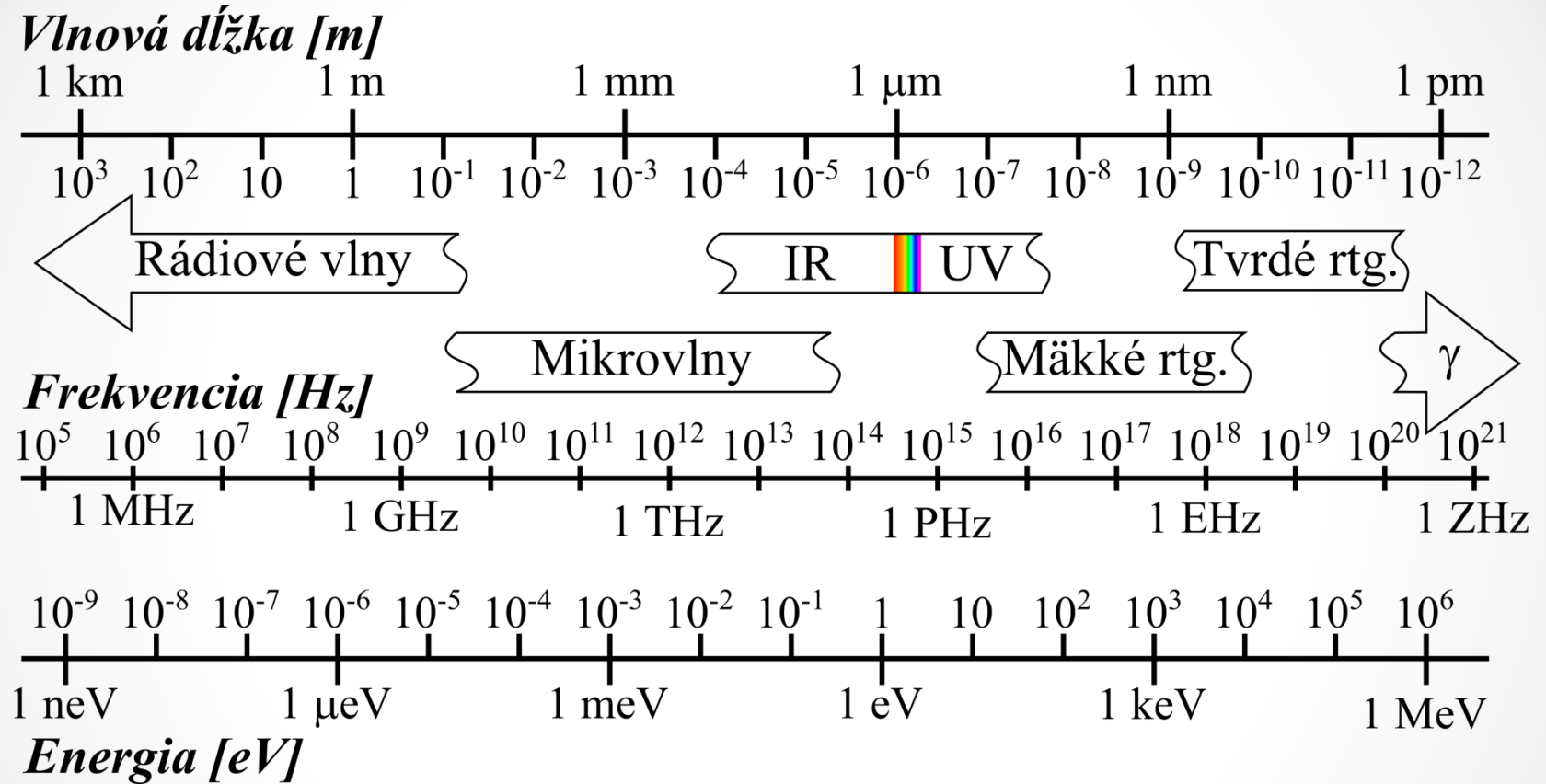
# Čo je rádioaktivita

- **Jav**, pri ktorom **sa jadrá** daného **rádioaktívneho prvku** (materské jadrá) samovoľne **premieňajú na prvok iný** (dcérske jadrá) prostredníctvom **emitovania častíc** ( $\alpha$ ,  $\beta$ , neutróny, protóny, štiepne fragmenty) **alebo elektromagnetického žiarenia** ( $\gamma$ -žiarenie).
- **Ionizujúce žiarenie** je akákoľvek **častica** alebo **elektromagnetické žiarenie**, ktorej energia je dostatočne veľká na **ionizáciu atómu**, resp. odstránenie elektrónu z atómového obalu.
- Ak má elektromagnetické žiarenie (fotón) energiu  $E > 12.4 \text{ eV}$  a vlnovú dĺžku  $\lambda < 100 \text{ nm}$ , tak sa radí medzi **ionizujúce žiarenie**.

# Rozdelenie ionizujúceho žiarenia



# Rozdelenie elektromagnetického spektra

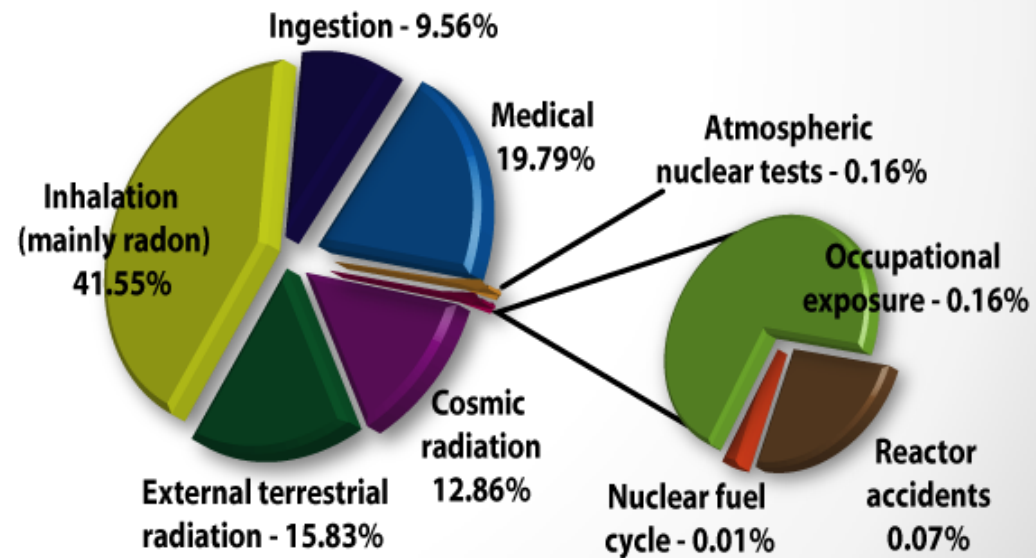
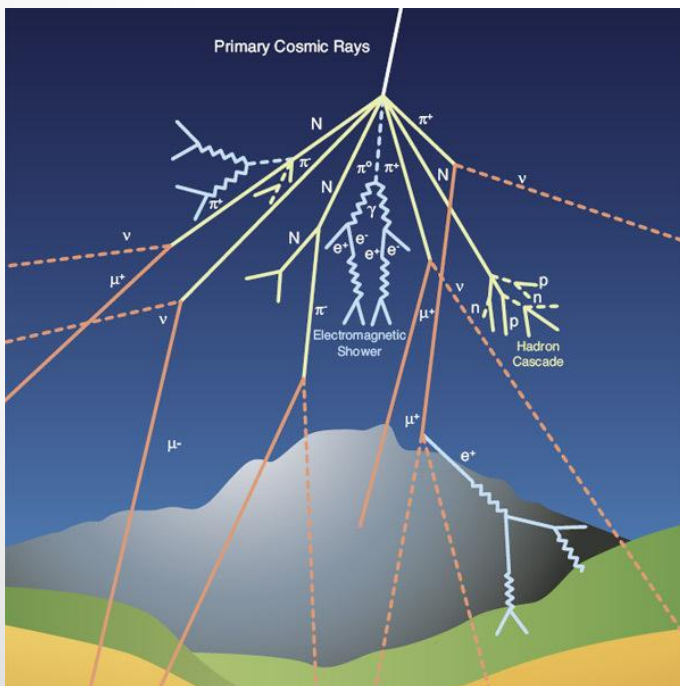


Schematické zobrazenie elektromagnetického spektra v závislosti od vlnovej dĺžky, frekvencie a energie.



# Dozimetria a jej ciele

- **Dozimetria** je časť fyziky, ktorá **sa zaoberá**:
  1. **Ionizujúcim žiarením a jeho vlastnosťami**
  2. **Procesmi vzniku a interakcie** ionizujúceho žiarenia **s látkami**
  3. **Veličinami a metódami merania** charakterizujúce tieto interakcie



IAEA, Information for Patients (graf podľa UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) 2008 Report)

# Dozimetria a jej ciele

- **Meranie veličín**, ktorými možno charakterizovať **biologické účinky ionizujúceho žiarenia**.
- **Dozimetria prostredia** – často sa meria v prostrediach, kde sa očakáva **zvýšená radiačná dávka** – napríklad monitorovanie radónu v pôde, okolie jadrových elektrární, pracoviská, ...
- **Medicínska dozimetria** – najmä meranie a výpočet **dávky žiarenia** prijatej pacientom (lekárom)
- Meria sa prirodzená aj umelá rádioaktivita („má v tom prsty“ človek – jadrové výbuchy, urýchľovače, ...)

# Základy radioaktivity

- **Rádioaktivita** je prirodzený, **stochastický** (náhodný) **proces** – nemožno predpovedať rozpad konkrétneho atómu
- **Atómové jadro** sa skladá z **protónov Z** (protónové/atómové číslo) a **neutrónov N** (neutrónové číslo). Platí, že **nukleónové/hmotnostné číslo A** atómu je dané **súčtom jeho protónov a neutrónov:  $A=Z+N$** .
- Označenie nuklidu:  ${}^A_ZX_N$  pričom **X** je **chemický prvok** a **A**, **Z** a **N** sú **nukleónové, protónové a neutrónové čísla**. **Nuklid je** teda priamo **atómové jadro**. Z hľadiska počtu protónov Z a neutrónov N v jadre atómu, môžno nuklidy rozdeliť **do 3 základných skupín**:

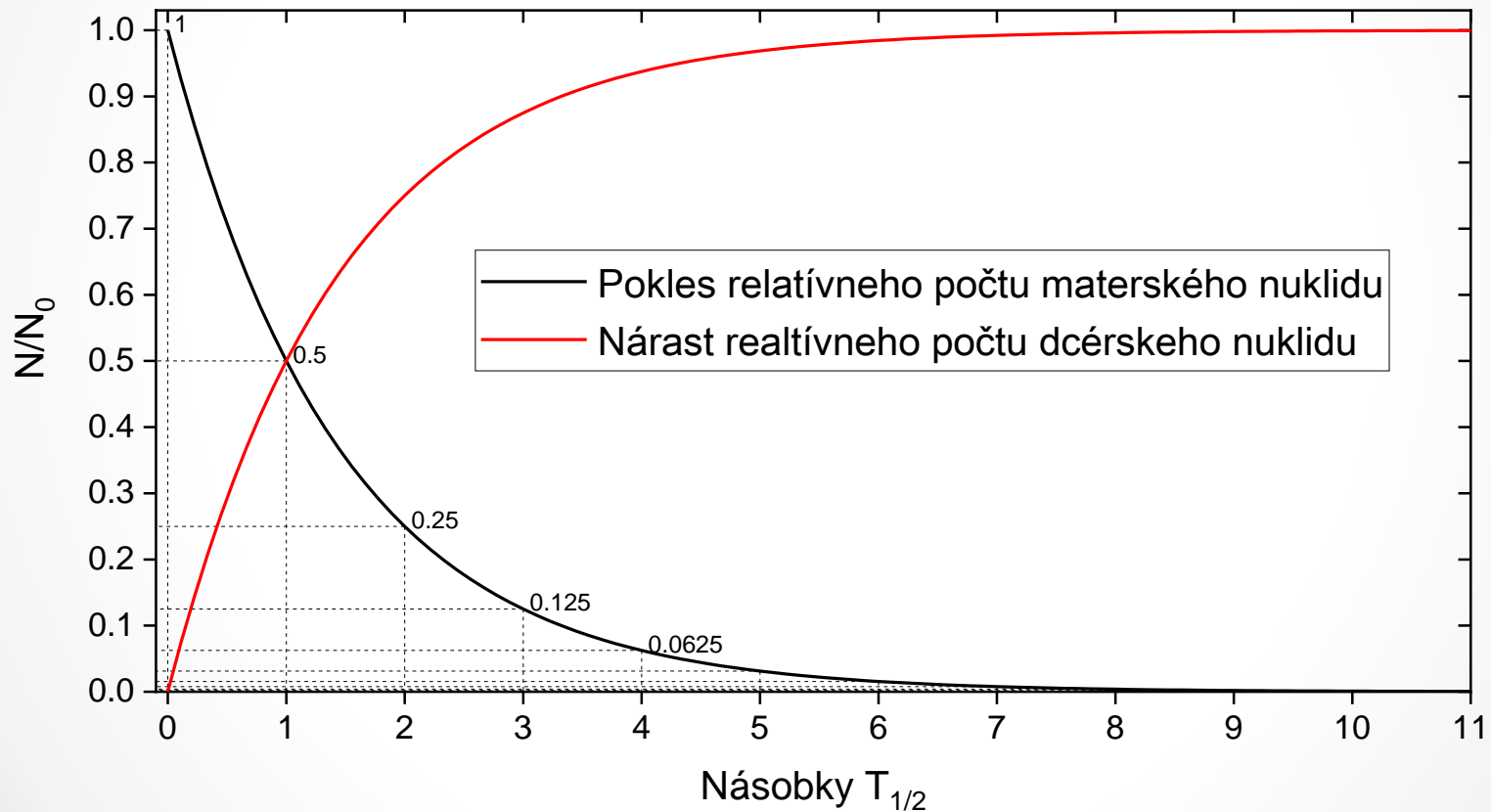


# Základy rádioaktivity

- 1. Izotopy** – nuklidy majú **rovnaké** protónové číslo **Z**, ale **rozdielne** nukleónové číslo **A**.  
(napr.:  ${}^{12}_6\text{C}$ ,  ${}^{13}_6\text{C}$ ,  ${}^{14}_6\text{C}$  alebo  ${}^{233}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{235}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{236}_{92}\text{U}$ ,  ${}^{238}_{92}\text{U}$ )  
Hovoríme o izotopoch uhlíka 12, 13 alebo 14 alebo izotopoch uránu 233, 235, 236 a 238.
- 2. Izobary** – nuklidy majú **rovnaké** nukleónové číslo **A**, ale **rozdielne** protónové číslo **Z**.  
(napr.:  ${}^{26}_{13}\text{Al}$ ,  ${}^{26}_{12}\text{Mg}$  alebo  ${}^{96}_{40}\text{Zr}$ ,  ${}^{96}_{42}\text{Mo}$ ,  ${}^{96}_{44}\text{Ru}$ )
- 3. Izotóny** – nuklidy majú **rovnaké** neutrónové číslo **N** a **rôzne** protónové číslo **Z** (napr.:  ${}^{14}_6\text{C}$ ,  ${}^{15}_7\text{N}$ ).

# Základy rádioaktivity

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



Rádioaktívny zákon. Úbytok materského nuklidu v dôsledku rádioaktívnej premeny v závislosti od doby polpremeny za súčasného vzniku dcérskeho nuklidu.

# Ochrana pred žiarením

- Úlohou ochrany je zníženie absorbovanej dávky v organizme na najmenšiu možnú mieru (ALARA - „As Low As Reasonably Achievable“).

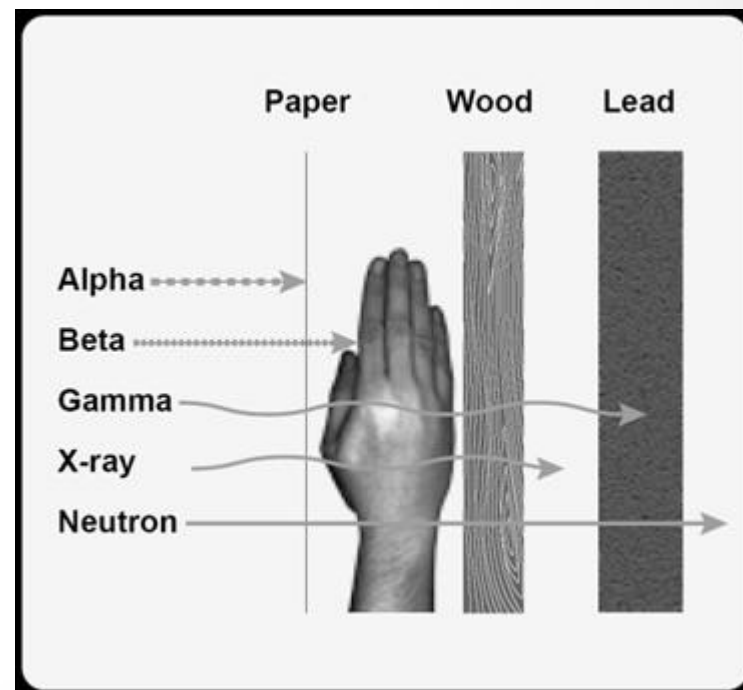
## 1. ČAS

$$D = \frac{dD}{dt} \cdot t = \dot{D} \cdot t$$

## 2. VZDIALENOSŤ

$$\dot{D} = \frac{\dot{D}_0}{r^2}$$

## 3. TIENENIE



# Radiačná dávka

- Z hľadiska pôsobenia ionizujúceho žiarenia na človeka nás zaujíma absorbovaná radiačná dávka
- **Radiačná dávka** – je biologicky efektívne množstvo žiarenia prijaté organizmom vzťahnuté na jednotku hmotnosti (objemu).
- Nepliešť si to s dávkou z farmakológie!
- V medicíne sa berie do úvahy **len žiarenie absorbované** telom – ak žiarenie prejde cez organizmus bez interakcie, nepočíta sa do radiačnej dávky

# Radiačná dávka

- Ak pri prechode ionizujúceho žiarenia telom nastáva interakcia, tak toto žiarenie odovzdáva atómom tela energiu – nazývame ju dávka.
- Túto dávku popisujeme **tromi spôsobmi**:
  1. **Absorbovaná dávka**
  2. **Ekvivalentná dávka**
  3. **Efektívna dávka.**



# Absorbovaná dávka

- **Absorbovaná dávka D** je podiel strednej energie odovzdanej ionizujúcim žiarením elementu ožiarenej látky a hmotnosti tohto elementu. Je to energia absorbovaná v jednotke hmotnosti ožarovanej látky v určitom mieste:

$$D = \frac{d\bar{\varepsilon}}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE}{dV} [\text{Gy}]$$

- Jednotka absorbovanej dávky D sa nazýva **gray** a platí, že:  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$
- Absorbovanú dávku D možno počítať pre ľubovoľný typ ionizujúceho žiarenia.

# Príkion absorbovanej dávky

- Prírastok dávky  $D$  za čas sa nazýva **príkion absorbovanej dávky (dávková rýchlosť)**. Dôležitý je teda časový prírastok dávky a možno ho vypočítať ako:

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} [\text{Gy/s}, \text{W/kg}]$$

- Jednotka príkonu absorbovanej dávky je **gray za sekundu, resp. Gy/s = W/kg**.
- Absorbovaná dávka **nešpecifikuje prejavy interakcie** primárneho žiarenia s látkou. Ak sú primárne častice nenabité, tak najskôr odovzdávajú svoju energiu nabitým časticiam, ktoré neskôr ionizujú/excitujú látku v inom mieste. Inak povedané, nie je jedno čo ma zasiahne.

# Ekvivalentná dávka

- Biologické účinky žiarenia závisia od **absorbovanej dávky** a **druhu žiarenia**.
- Pomer dávok žiarenia pri 2 rôznych druhoch žiarenia na vyvolanie rovnakého biologického účinku sa nazýva **relatívna biologická účinnosť**.
- Na účel ochrany pred ionizujúcim žiarením sa zaviedol systém, ktorý uvažuje rôzne relatívne účinnosti jednotlivých druhov žiarenia. Zaviedli sa pojmy ako: **Radiačný váhový faktor  $W_R$**  alebo **faktor kvality  $Q$** , **tkaninový váhový faktor  $W_T$** .
- Základnou veličinou používanou na ohodnotenie biologických účinkov je **ekvivalentná dávka (dávkový ekvivalent)**:
$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{TR} [\text{Sv}]$$
- Ekvivalentná dávka je priemerná absorbovaná dávka v tkanive alebo orgáne, vynásobená radiačným váhovým faktorom  $W_R$ .  $D_{TR}$  je priemerná absorbovaná dávka v tkanive T zo žiarenia R. SI jednotkou je Sievert,  $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rem}$ . Má rovnaký rozmer ako Gray, ale treba ich **dôsledne rozlišovať**.
- **Rovnaká** hodnota **ekvivalentnej dávky** absorbovaná v tom istom telese má **rovnaký biologický účinok**.

# Efektívna dávka

- **Efektívna dávka  $E_T$**  je súčet ekvivalentných dávok  $H_T$  vo všetkých orgánoch alebo tkanivách, vynásobený tkanivovým váhovým faktorom  $W_T$ :

$$E_T = \sum_T W_T \cdot H_T [\text{Sv}]$$

- Jednotkou je Sievert, pretože tkanivový váhový faktor je bezrozmerná veličina, vyjadrujúca rozdielny biologický účinok žiarenia v rôznych tkanivách.
- Pri rovnomernom ožiarení celého tela platí:

$$\sum_T W_T = 1$$

# Váhové faktory

Radiačné váhové faktory $W_R$	
Druh žiarenia	$W_R$
Fotóny (všetky energie)	1
Elektróny, mióny (všetky energie)	1
Neutróny <10 keV	5
Neutróny <10 keV, 100 keV>	10
Neutróny <100 keV, 2 MeV>	20
Neutróny <2 MeV, 20 MeV>	10
Neutróny >20 MeV	5
Protóny >2MeV (okrem odrazených)	5
Častice $\alpha$ , ťažké jadrá, štiepne fragmenty	20

ICRP 1990: ICRP Publ. No 60. Recommendations of ICRP, Vol. 21, No 3, 1991.

Tkaninové váhové faktory $W_T$	
Tkanivo/Orgán	$W_T$
Hrubé črevo	0,12
Kostná dreň	0,12
Plúca	0,12
Prsia	0,12
Žalúdok	0,12
Pohlavné žľazy	0,08
Močový mechúr	0,04
Pečeň	0,04
Štítina žľaza	0,04
Koža	0,01
Mozog	0,01
Povrch kostí	0,01
Ostatné	0,17
<b>SPOLU</b>	<b>1</b>

Váhový faktor pre jednotlivé orgány. Hodnoty prevzané z Harrison a Day, 2008.



# Súhrn

- **Absorbovaná dávka  $D$  [Gy]** je veľkosť energie žiarenia absorbovaného v určitej hmotnosti telesa.
- **Ekvivalentná dávka  $H_T$  [Sv]** popisuje akú dávku prijalo konkrétne tkanivo/orgán v závislosti od druhu žiarenia.
- **Efektívna dávka  $E_T$  [Sv]** je súčet všetkých absorbovaných dávok v závislosti od druhu tkaniva/orgánu a od druhu žiarenia.

# Expozícia

- **Expozícia X [C/kg]** je veličina vyjadrujúca **ionizujúce účinky fotónov** (rtg, gamma) **vo vzduchu**.

- Expozícia je podiel celkového elektrického náboja všetkých iónov jedného znamienka, vytvorených vo vzduchu pri úplnom zabrzdení všetkých elektrónov (negatívnych aj pozitívnych), ktoré sú uvoľnené fotónmi v objemovom elemente vzduchu a hmotnosti  $dm$  tohto elementu:

$$X = \frac{|dQ|}{dm} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{|dQ|}{dV} \text{ [C/kg]}, (m = \rho \cdot V)$$

- Jednotka expozície je **coulomb na kilogram, resp. C/kg**.
- Odvodená (historická) jednotka expozície je Röntgen,  $1 \text{ R} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$ .

# Expozícia

- Expozícia teda vyjadruje interakciu primárneho nepriamo ionizujúceho žiarenia (fotónov) s elementárnym objemom látky – vzduchu.
- Podobne ako pri absorbovanej dávke možno zadefinovať prírastok expozície s časom, veličinu nazývanou **expozičný príkon**  $\dot{X}$  [C/kg/s=A/kg].

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} \text{ [C/kg/s, A/kg]}$$

# Biologické účinky žiarenia

- Celkové **biologické** zmeny po ožiarení sú súhrnom **fyzikálnych, chemických a biologických procesov**.
- Etapy pôsobenia žiarenia v ožiarenom biologickom materiáli sú:
  1. **Fyzikálna** ( $10^{-17}$  –  $10^{-13}$ )s: absorpcia žiarenia, ionizácia/excitácia molekúl.
  2. **Fyzikálno-chemická** ( $10^{-14}$  –  $10^{-10}$ )s: sekundárne procesy – disociácia molekúl, vznik voľných radikálov, prenos a rekombinácia náboja.
  3. **Chemická** ( $10^{-3}$  – 1)s: reakcie vzniknutých iónov s DNA, RNA, enzýmov, proteínov – mení sa zloženie a funkcia týchto molekúl.
  4. **Biologická**: biologický systém reaguje na vzniknuté látky. Zmeny v DNA vedú k morfológickým a funkčným zmenám buniek/orgánov a organizmu ako celku – mutácie, smrť bunky, či celého organizmu.

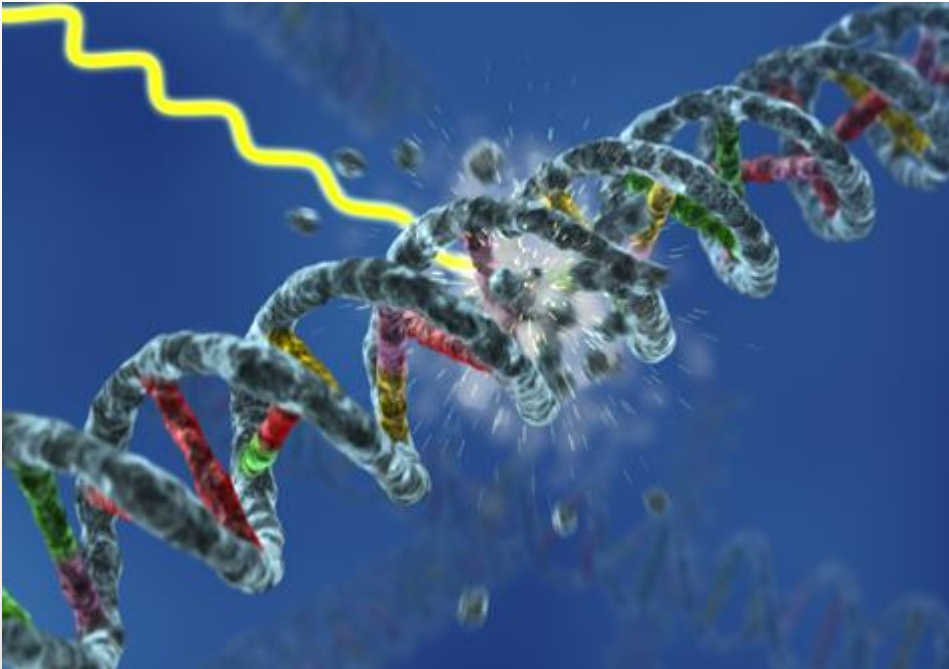
# Biologické účinky žiarenia

- Poškodenie DNA
- Tvorba voľných radikálov
- Poškodenie chromozómov

Alexander Litvinenko otrávený Polóniom 210 ( $^{210}\text{Po}$ ). Zomrel 22 dní po otrávení. [cit. 22.3.2016].

Prevzaté z:

<http://www.theguardian.com/world/2016/jan/21/key-findings-who-killed-alexander-litvinenko-how-and-why>



Poškodenie DNA gamma žiarením. [cit. 22.3.2016].

Prevzaté z:

<http://www.scienceart.co.uk/>



# Biologické účinky žiarenia

- **Využitie:**
- Likvidácia metabolicky najaktívnejších buniek – nádory – kvôli rozptylu sa musí vypočítať dávka aj s ohľadom na okolité zdravé tkanivo.
- Z vyššie uvedeného vyplýva že deti horšie znášajú ožiarenie – ich bunky majú vyššiu metabolickú aktivitu – častejšie sa delia – jadro je dlhšie nechránené.
- Vonkajšie ožarovanie, rádiofarmaká, zobrazovanie
- Sledovanie ožiarenia pracovníkov pracujúcich na prístrojoch s použitím ionizačného žiarenia (CT, Röntgen, PET, ...)

# Biologické účinky žiarenia

- 87/2018 Zákon z 13. marca 2018 (platnosť od 1. apríl 2018) o radiačnej ochrane a o zmene a doplnení niektorých zákonov.




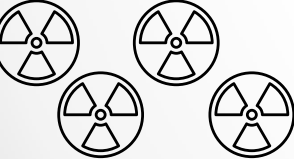

[https://www.slov-lex.sk/static/pdf/2018/87/ZZ\\_2018\\_87\\_20180401.pdf](https://www.slov-lex.sk/static/pdf/2018/87/ZZ_2018_87_20180401.pdf)

- Študenti počas špecializovanej prípravy na povolanie:  
E = max. ?\* **mSv** ročne
- Pracovníci s RA zdrojmi – max. ?\*\* **mSv** počas 5 po sebe nasledujúcich rokov, avšak najviac ?\*\*\* **mSv** v jednom kalendárnom roku.

\*, \*\* a \*\*\* - zistite si sami, život je ťažký

- Poznámka: produkty RA premeny dostávame aj prirodzenou cestou do tela – jedlom - ingescia, dýchaním - inhalácia. Napr.  $\alpha$  častice sú zvonka takmer neškodné (zastaví ich papier, vzduch) ale zvnútra sú najškodlivejšie (vid'. Alexander Litvinenko)

# Biologické účinky žiarenia

Relatívna radiačná záťaž	Odhadovaná efektívna dávka pre dospelých	Čas na dosiahnutie rovnakej dávky od prirodzeného pozadia	Príklady medicínskych analýz
			Ultrazvuk, MRI
	<b>&lt; 0,1 mSv</b>		
	0,001 mSv	3 hod	Rtg – končatina
	0,005 mSv	1 deň	Rtg – chrup
	<b>0,1 – 1 mSv</b>	<b>10 dní – 4 mesiace</b>	
	0,1 mSv	10 dní	Rtg – hrud'
	<b>1 – 10 mSv</b>	<b>4 mesiace – 3 roky</b>	
	2 mSv	8 mesiacov	CT – hlava
	6 mSv	2 roky	CT – hrud'
	<b>10 – 30 mSv</b>	<b>3 – 10 rokov</b>	
	15 mSv	5 rokov	CT – brucho a panva
	30 mSv	10 rokov	Multifázové CT – brucho a panva
	<b>30 – 100 mSv</b>	<b>10 – 33 rokov</b>	

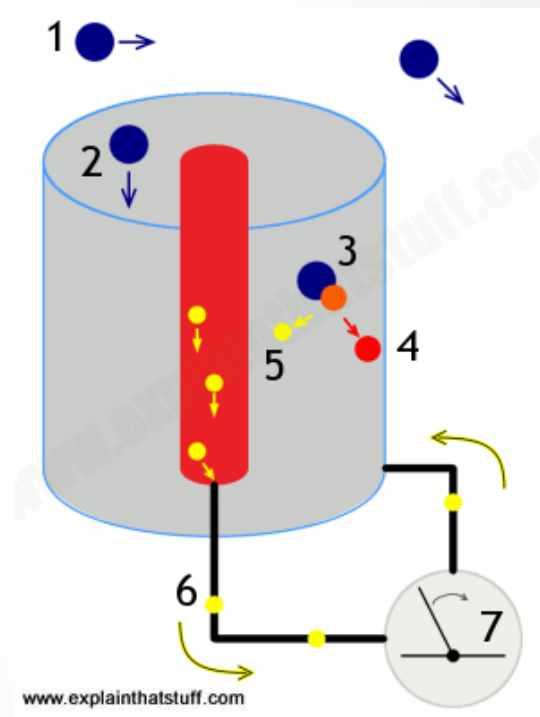
Porovnanie dávok niektorých medicínskych vyšetrení s časom potrebným na získanie danej dávky od žiarenia prirodzeného pozadia.

# Detektory ionizujúceho žiarenia

- Detektory ionizujúceho žiarenia (IŽ) možno podľa **princípu** detekcie rozdeliť na detektory:
  - a) Využívajúce zmenu rôznych vlastností určitých látok v dôsledku pôsobenia IŽ (vyhodnocovanie **fotochemických** účinkov IŽ – rtg. filmy, filmové dozimetre, jadrové emulzie; **termoluminiscenčné** a **OSL dozimetre**, ktoré využívajú napr. zmenu farby alebo zloženia látky vplyvom IŽ).
  - b) Elektronické, ktoré registrujú priamo časť absorbovanej energie IŽ (**ionizačné komôrky**, **proporcionálne** počítače, **G-M detektory**, **scintilačné** a **polovodičové detektory**).
- Podľa **spôsobu** merania možno detektory IŽ rozdeliť na:
  - a) **Kontinuálne** – okamžitá hodnota napr. o počte kvánt, odozva detektora je úmerná intenzite IŽ a zaniká po vypnutí zdroja IŽ.
  - b) **Integrálne** – kumulujú odozvu počas celej doby expozície IŽ a možno ich vyhodnocovať aj po vypnutí zdroja IŽ.

# Geigerove-Müllerove trubice

- **G-M detektor** je **elektronický detektor** naplnený **plynom** (Ne, Ar) s nižším tlakom ako je atmosférický.
- Eklektódy sú pripojené na **vysoké napätie** (600 – 1000 V).
- Po vniknutí IŽ do detektora vzniká v plyne ionizácia, **proces** je **lavínovitý**, z 1 primárneho elektrónu vzniká až  $10^{10}$  sekundárnych elektrónov, vzniká silný prúdový impulz.
- Počas trvania lavínového výboja je detektor necitlivý – **mŕtva doba detektora**. G-M detektory asi **100  $\mu$ s**.
- Pridávanie plynu – **zhášacia látka** (napr. pary metylalkoholu), ktoré pomáhajú zhášať výboj.
- Používajú sa ako merače kontaminácie a hlásiče zamorenia, monitorovacie systémy a pod.





# Scintilačné detektory

- **Scintilačné detektory** využívajú vlastnosť určitých materiálov reagovať pri absorpcii IŽ svetelnými zábleskami – scintiláciou detegovanou pomocou **fotonásobičov** (zosilňuje svetelný záblesk pomocou dynódovej sústavy – na konci sústavy je  $\sim 10^5 - 10^8$  e-ov).
- Scintilátory možno rozdeliť na: **Anorganické** (najčastejšie NaI(Tl), pre detekciu vyšších energií –  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO),  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  (LSO),  $\text{LuAlO}_3$  (LAO), ...) a **organické (naftalén, antracén, stilbén, ...)**.
- Scintilačné detektory majú **vysokú detekčnú účinnosť** a **veľmi krátku mŕtvu dobu** ( $\sim 1 \mu\text{s}$ ) a amplitúda výstupného impulzu je priamo úmerná energii absorbovaného kvanta.

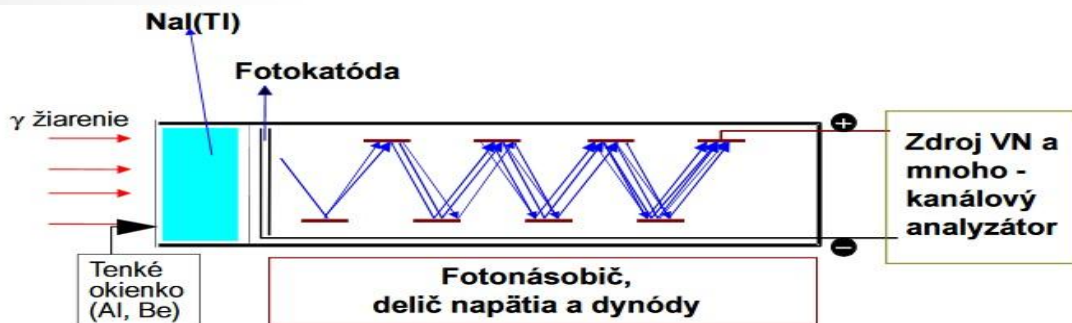


Schéma fungovania scintilačného detektora. Slovenská Nukleárna Spoločnosť. [cit. 22.3.2016].  
Prevzaté z:  
<http://www.edu.snus.sk/>



# Filmové dozimetre

- **Filmová dozimetria** využíva fotochemické účinky IŽ. Fotografické emulzie pozostávajú z mikroskopických zŕn AgBr rozptýlených v želatíne.
- Po prechode IŽ film **sčernie**, miera sčernenia filmu je mierou **integrálneho množstva žiarenia** počas expozície – existuje **lineárna závislosť medzi dávkou a sčernením**.
- Použitie v osobnej dozimetrii pracovníkov s IŽ, zvyčajne je umiestnený na referenčnom mieste, pravidelne vyvolávaný a vyhodnocovaný.



Filmový dozimeter. Obsahuje okienka z rôznych materiálov pre zachytávanie rôznych typov žiarenia – napr. hliníkové okienko blokuje alfa a  $\beta$ -žiarenie - čiže stmavnutie filmu pod tým okienkom odpovedá počtu gama častíc.

# Termoluminiscenčné a OSL dozimetre

- **Termoluminiscencia – tepelne a OSL – opticky stimulovaná luminiscencia** sú javy, pri ktorom IŽ spôsobí excitáciu elektrónov z valenčného pásma do vodivostného. Elektróny zostávajú na týchto energeticky vzбудených hladinách, pokiaľ im nie je dodaná ďalšia energia – zohriatím, či osvetlením.
- Elektróny sa vracajú na nižšie energetické hladiny za súčasného vyžarovania **fotónov**; vyžiarená energia je úmerná **radiačnej dávke**.
- Po expozícii sa TL dozimeter vyhrieva na 160 – 300 °C, vzniká závislosť elektrického signálu z fotonásobiča a teploty – **vyhrievacia krivka, plocha** pod krivkou je **úmerná absorbovanej dávke**.
- Používajú sa v osobnej dozimetrii, najmä LiF(Tl), CaF<sub>2</sub>, MgBeO<sub>4</sub>, ...
- Pre OSL dozimetre sa používa najmä Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(C), na vyhodnocovanie sa využíva **LED osvetlenie**. Vzniknutá **luminiscencia** je **úmerná absorbovanej dávke** žiarenia.

# Odporúčaná literatúra

- Pre anglicky rozumejúcich (aspoň píšmom):
- <http://www.arpansa.gov.au/radiationprotection/basics/index.cfm>
- <http://radiopaedia.org/>
- [www.atomcentral.com](http://www.atomcentral.com)
- <http://www.physics.isu.edu/radinf/index.html>
- <http://www.nuclearconnect.org/know-nuclear>
- <http://www.radiologyinfo.org/>
- <http://www.radiationanswers.org/>
- <http://hps.org/>
- Pre anglicky nerozumejúcich:
- <http://www.edu.snus.sk/>
- <http://www.uro.sk/>
- <http://www.javys.sk/sk/>
- [http://www.health.gov.sk/Zdroje?/Sources/dokumenty/zahranicne\\_vztahy/ROV/ROV\\_Lekarske\\_expozicie\\_17-6-2015.pdf](http://www.health.gov.sk/Zdroje?/Sources/dokumenty/zahranicne_vztahy/ROV/ROV_Lekarske_expozicie_17-6-2015.pdf)

# Použitá literatúra

- STN ISO 31-9: Veličiny a jednotky. 9. časť Atómová a jadrová fyzika. Bratislava: Slovenský ústav technickej normalizácie, 1997. 36 s.
- BIRSACK, H.J., FREEMAN, L.M. *Clinical Nuclear Medicine*. Berlin: Springer Verlag, 2007. 548 p. ISBN 978-3-540-28025-5.
- HALLIDAY, D., RESNICK, R., WALKER, J. *Fundamentals of Physics*. 9<sup>th</sup> edition. John Wiley & Sons, 2010. 1136 p. ISBN 978-0-470-46911-8.
- <http://radiopaedia.org/> [cit. 22.3.2016].
- Slovenská Nukleárna Spoločnosť. [www.snus.sk/](http://www.snus.sk/) [cit. 22.3.2016].
- [www.atomcentral.com](http://www.atomcentral.com) [cit. 22.3.2016].
- Zákon o radiačnej ochrane 87/2018 Z.z.
- Nariadenie vlády SR 98/2018 Z. z. o ochrane zdravia a osôb pri lekárskom ožiarení
- HOLÁ, O., HOLÝ, K., *Radiačná ochrana, Ionizujúce žiarenie, jeho účinky a ochrana pred ionizujúcim žiarením*, Nakladateľstvo STU, Bratislava, 2010, 200 p. ISBN 978-80-227-3240-6.



