



# Školení ionizujícího záření IV

Školicí program pro potřeby školicího střediska VF, a.s.  
Květen 2008



TENTO PROJEKT BYL SPOLUFINANCOVÁN  
EVROPSKÝM FONDEM PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
A MINISTERSTVEM PRUMYSLU A OBCHODU ČR



**Ionizující záření** je přenos energie v podobě částic nebo elektromagnetických vln

- $\lambda \leq 100 \text{ nm}$  neboli
- $\nu \geq 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$  neboli
- $E \geq 12,4 \text{ eV}$ ,

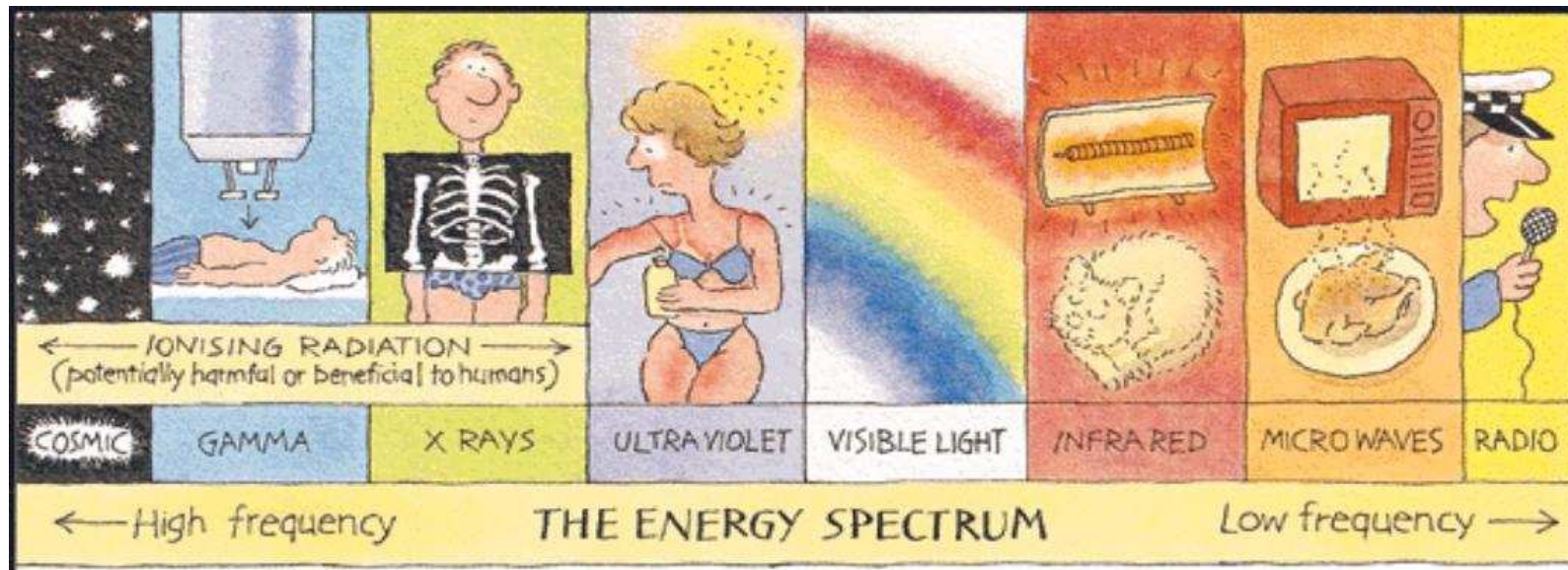
který je schopen přímo nebo i nepřímo vytvářet ionty.

$$1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- keV
- MeV

# Co je ionizující záření?

- Ionizace – vznik iontových párů.
- Ionizující záření – přenos energie v podobě elektromagnetických vln nebo částic, který je schopen přímo nebo nepřímo vytvářet ionty.

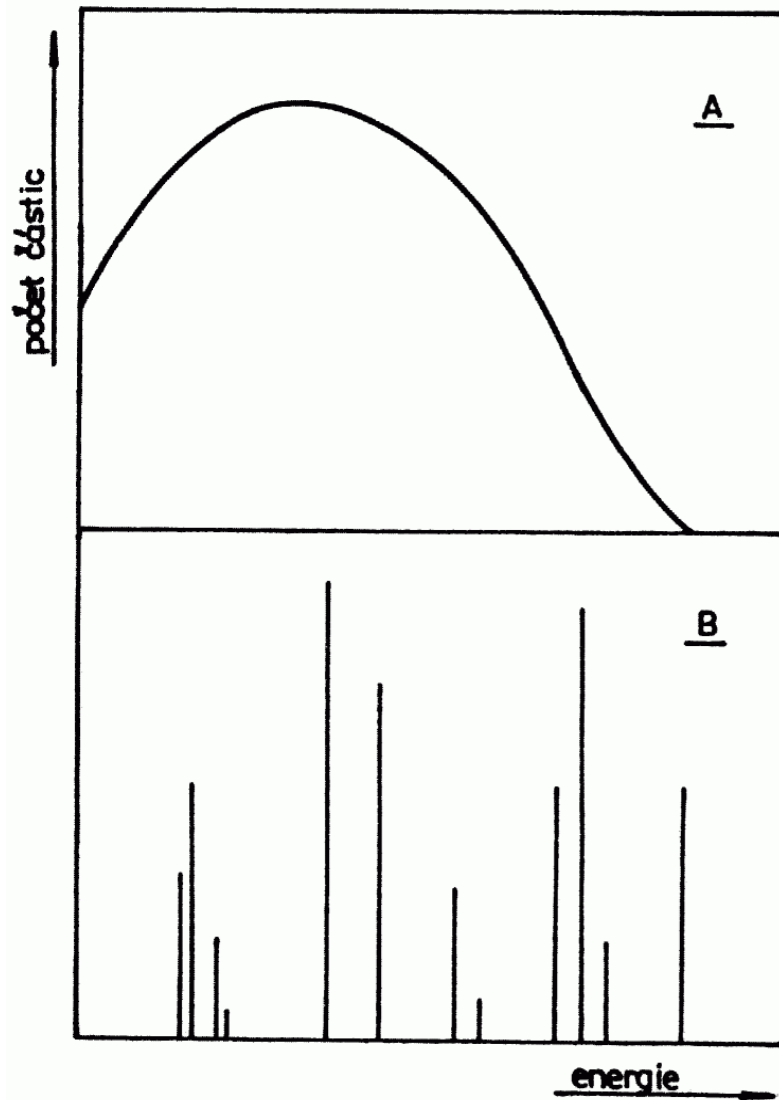




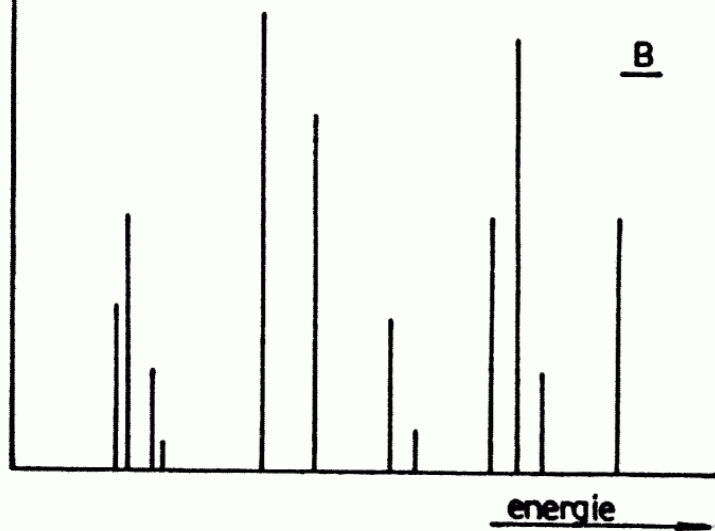
# Druhy IZ

- Elektromagnetické (fotonové)
  - rtg
  - gama
- Korpuskulární (částicové)
  - alfa
  - beta
  - neutrony
  - fragmenty rozštěpených jader

spojité:

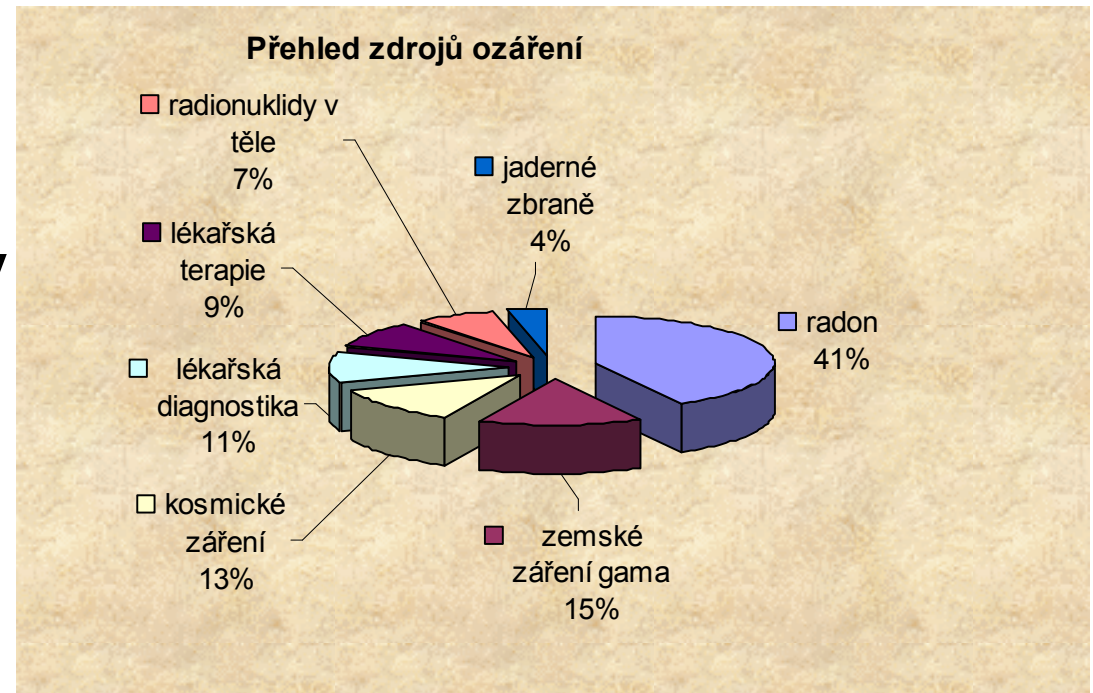


čarové:



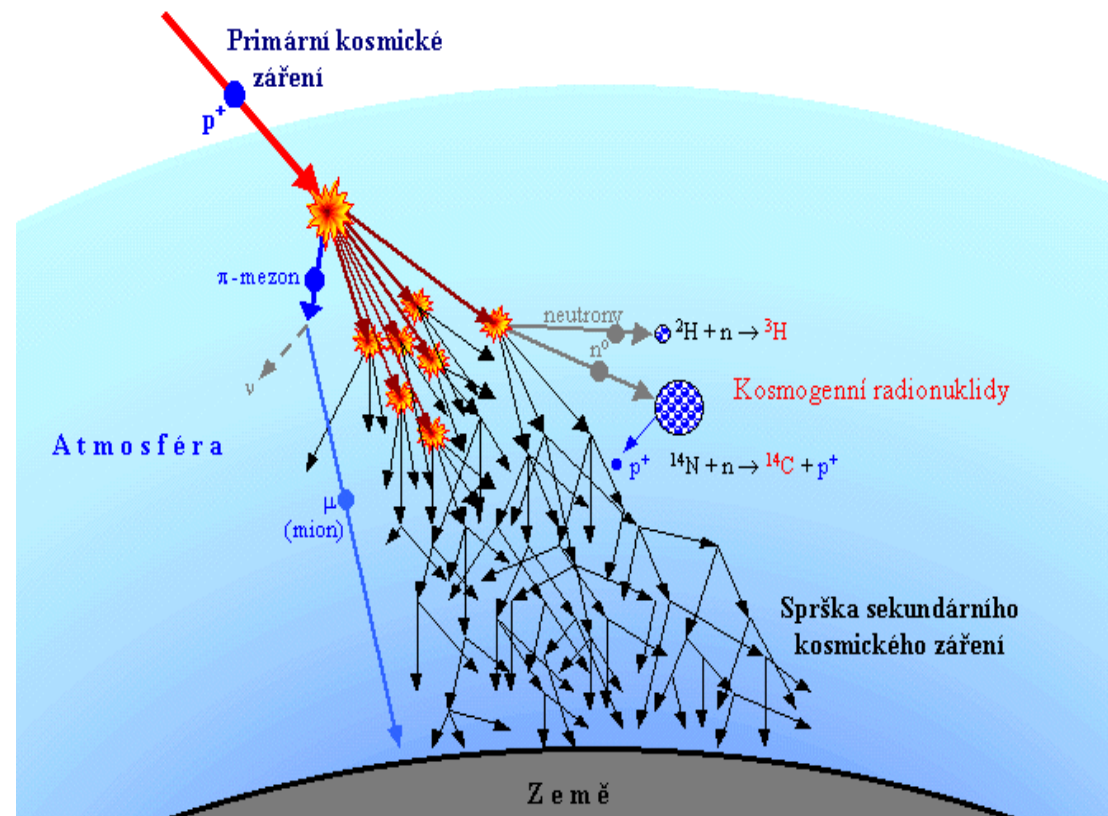
km		krátké	
	$10^2$	střední	
		dlouhé	
m	1	rozhlasové vlny	elektrické oscilátory
		televizní a rozhlasové vlny VKV	
mm	$10^{-2}$	mikrovlny	
	$10^{-4}$	infračervené záření	rozžhavená tělesa
$\mu\text{m}$	$10^{-6}$	světlo	
	$10^{-8}$	ultrafialové záření	výboje v plynu
nm	$10^{-10}$	rentgenové záření	rentgenka
	$10^{-12}$		
	$10^{-14}$	záření gama	radioaktivní atomy

- přirozené
  - kosmické záření
  - přírodní radionuklidy (radon)
- umělé zdroje
  - rentgenky
  - umělé radionuklidy
  - urychlovače
  - jaderné reaktory



## Přirozené zdroje IZ

- radon
- kosmické záření





## **Umělé zdroje IZ**

- generátory
- radionuklidové zářiče

## **Radioaktivita**

- schopnost atomových jader samovolně se přeměňovat.

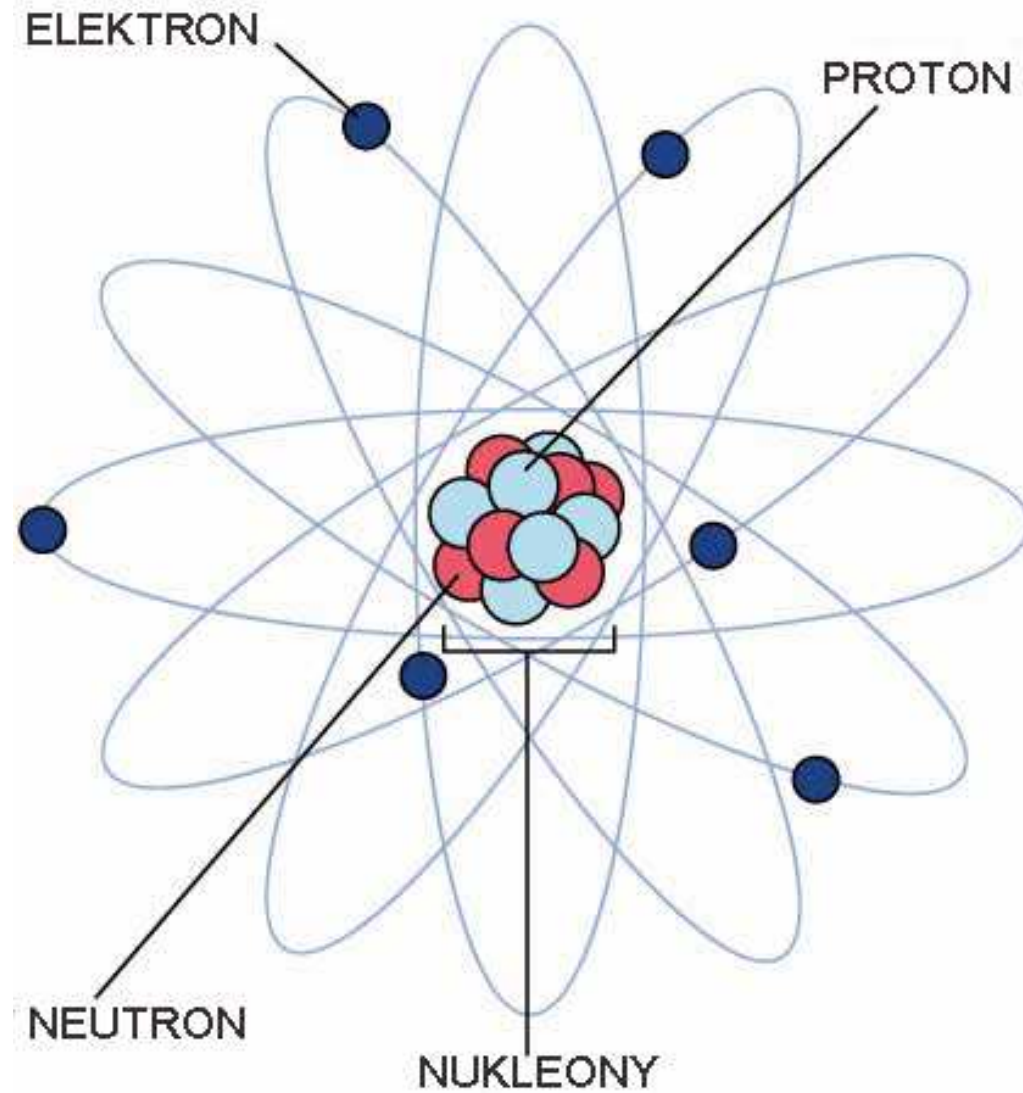
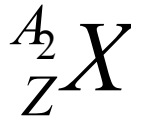




## Nuklid

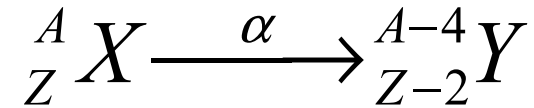


## Izotopy





## Přeměna $\alpha$

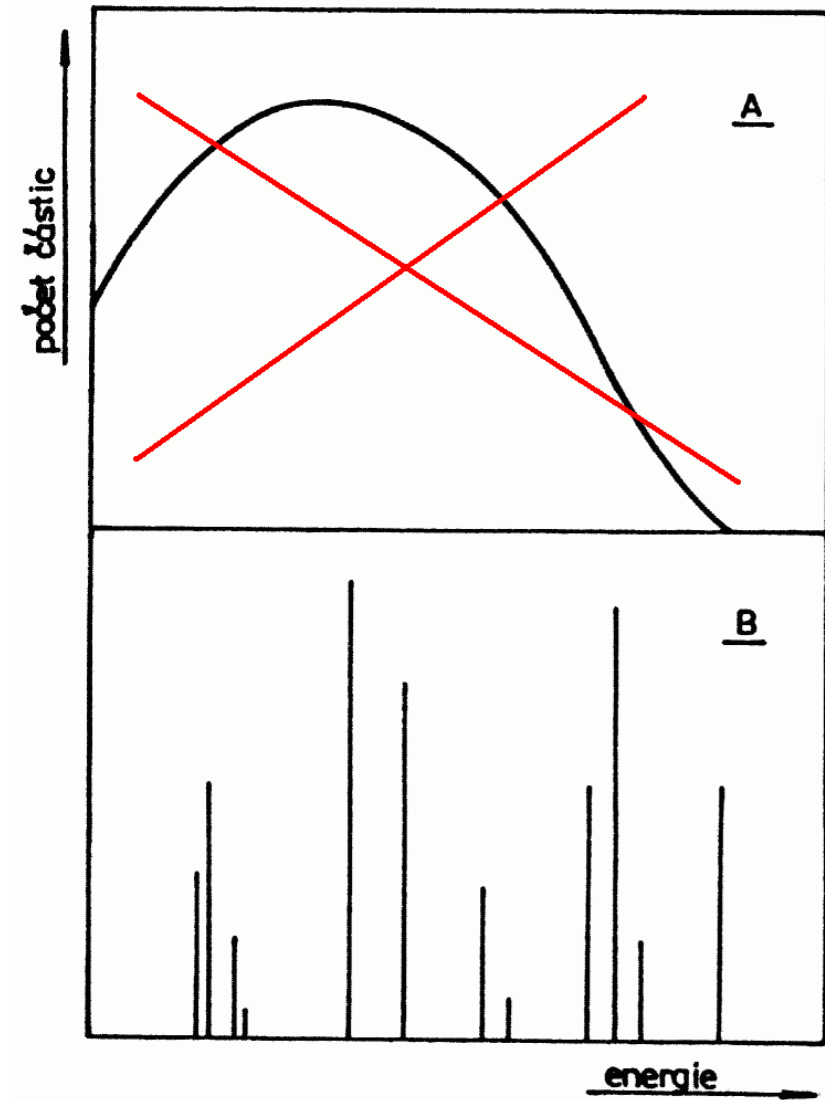


									2 Helium	
			10,811 <b>B</b> 5 Bor	12,011 <b>C</b> 6 Kohlenstoff	14,007 <b>N</b> 7 Stickstoff	15,999 <b>O</b> 8 Sauerstoff	18,998 <b>F</b> 9 Fluor	20,180 <b>Ne</b> 10 Neon	<b>L</b>	
			26,982 <b>Al</b> 13 Aluminium	28,086 <b>Si</b> 14 Silicium	30,974 <b>P</b> 15 Phosphor	32,066 <b>S</b> 16 Schwefel	35,453 <b>Cl</b> 17 Chlor	39,948 <b>Ar</b> 18 Argon	<b>M</b>	
58,69 28 Nickel	63,546 29 Kupfer	65,39 30 Zink	69,723 31 Gallium	72,61 32 Germanium	74,922 33 Arsen	78,96 34 Selen	79,904 35 Brom	83,8 36 Krypton	<b>N</b>	
106,42 46 Palladium	107,868 47 Silber	112,411 48 Cadmium	114,82 49 Indium	118,71 50 Zinn	121,75 51 Antimon	127,6 52 Tellur	126,904 53 Iod	131,29 54 Xenon	<b>O</b>	
195,08 78 Platin	196,967 79 Gold	200,59 80 Quecksilber	204,383 81 Thallium	207,2 82 Blei	208,98 83 Bismut	208,982 84 * Polonium	209,987 85 * Astat	222,018 86 * Radon	<b>P</b>	

## Záření $\alpha$

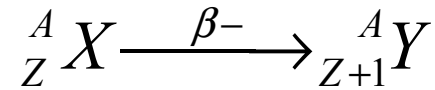
dolet

- ve vzduchu  $\approx$  cm
- v pevné fázi  $\approx$  10  $\mu\text{m}$





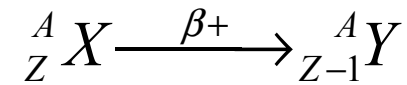
# Přeměna $\beta^-$



						10,811 <b>B</b> 5 Bor	12,011 <b>C</b> 6 Kohlenstoff	14,007 <b>N</b> 7 Stickstoff	15, 8 Sau
						26,982 <b>Al</b> 13 Aluminium	28,086 <b>Si</b> 14 Silicium	30,974 <b>P</b> 15 Phosphor	32, 16 Sch
138 <b>In</b> 26 Jan	55,847 <b>Fe</b> 27 Eisen	58,933 <b>Co</b> 28 Kobalt	58,69 <b>Ni</b> 29 Nickel	63,546 <b>Cu</b> 30 Kupfer	65,39 <b>Zn</b> 31 Zink	69,723 <b>Ga</b> 32 Gallium	72,61 <b>Ge</b> 33 Germanium	74,922 <b>As</b> 34 Arsen	78, 35 Selen
106 <b>C</b> 44 netium	101,07 <b>Ru</b> 45 Ruthenium	102,906 <b>Rh</b> 46 Rhodium	106,42 <b>Pd</b> 47 Palladium	107,868 <b>Ag</b> 48 Silber	112,411 <b>Cd</b> 49 Cadmium	114,82 <b>In</b> 50 Indium	118,71 <b>Sn</b> 51 Zinn	121,75 <b>Sb</b> 52 Antimon	127, 53 Tell
207 <b>Hg</b>	190,2 <b>Cd</b>	192,22 <b>Pt</b>	195,08 <b>Au</b>	196,967 <b>Pt</b>	200,59 <b>Pt</b>	204,383 <b>Tl</b>	207,2 <b>Pb</b>	208,98 <b>Pb</b>	208, 84 F

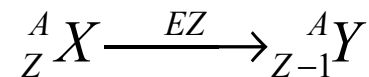


## Přeměna $\beta^+$



							4,003 He 2 Helium
		10,811 B 5 Bor	12,011 C 6 Kohlenstoff	14,007 N 7 Stickstoff	15,999 O 8 Sauerstoff	18,998 F 9 Fluor	20,180 Ne 10 Neon
		26,982 Al 13 Aluminium	28,086 Si 14 Silicium	30,974 P 15 Phosphor	32,066 S 16 Schwefel	35,453 Cl 17 Chlor	39,948 Ar 18 Argon
65,39 Zn 30 Zink	69,723 Ga 31 Gallium	72,61 Ge 32 Germanium	74,922 As 33 Arsen	78,96 Se 34 Selen	79,904 Br 35 Brom	83,8 Kr 36 Krypton	
929	442,444	444,92	449,74	424,76	427,6	436,004	434,20

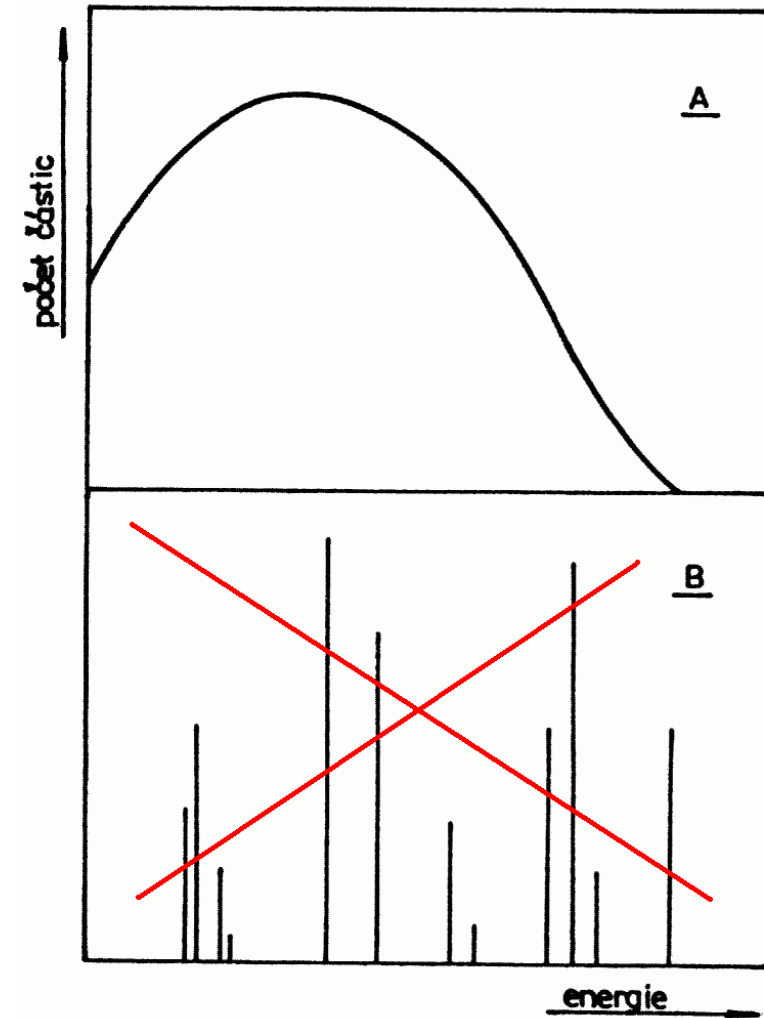
## Elektronový záchyt



# Záření $\beta$

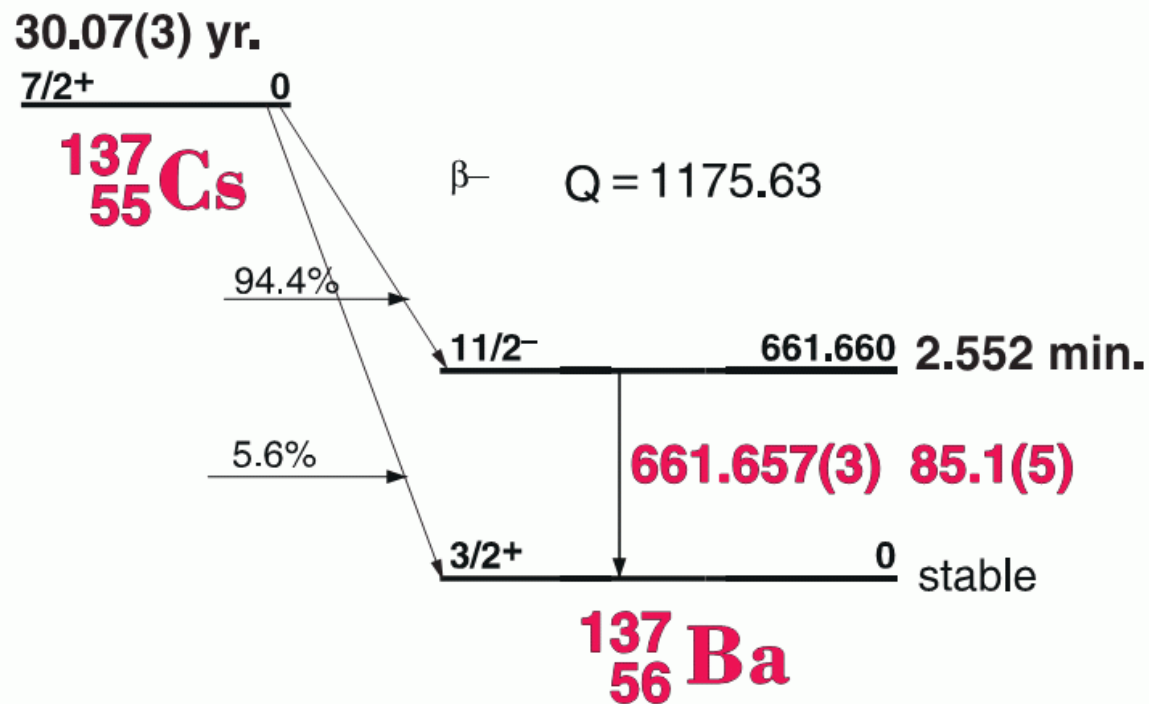
**dosah:**

E [MeV]	Vzduch [m]	Voda [mm]	Hliník [mm]
0,02	0,00773	0,00841	0,00422
0,05	0,0394	0,0431	0,0212
0,10	0,13	0,143	0,0693
0,20	0,407	0,448	0,214
0,50	1,601	1,77	0,837
1,0	3,936	4,38	2,059
2,0	8,732	9,84	4,593
5,0	22,281	25,80	11,889

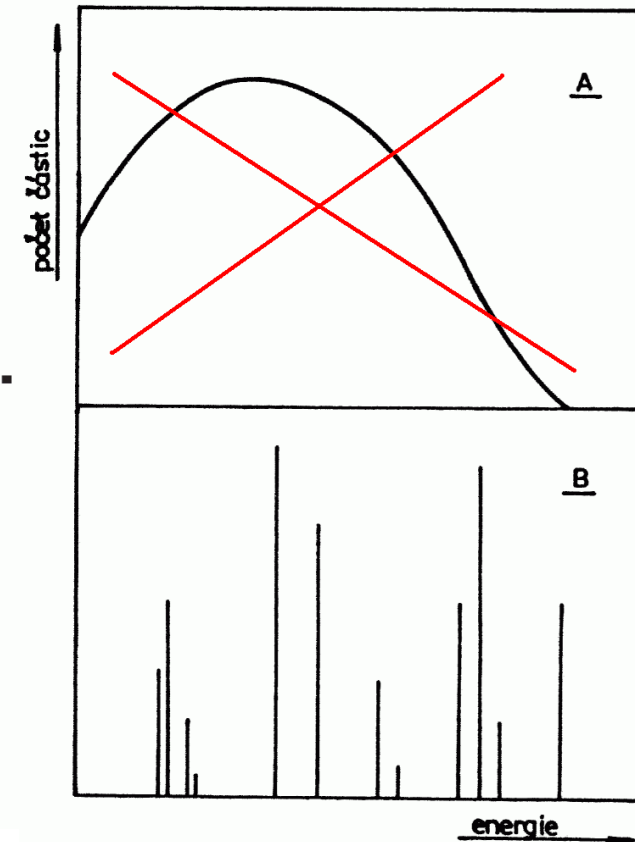




# Přeměna $\gamma$



# Záření $\gamma$





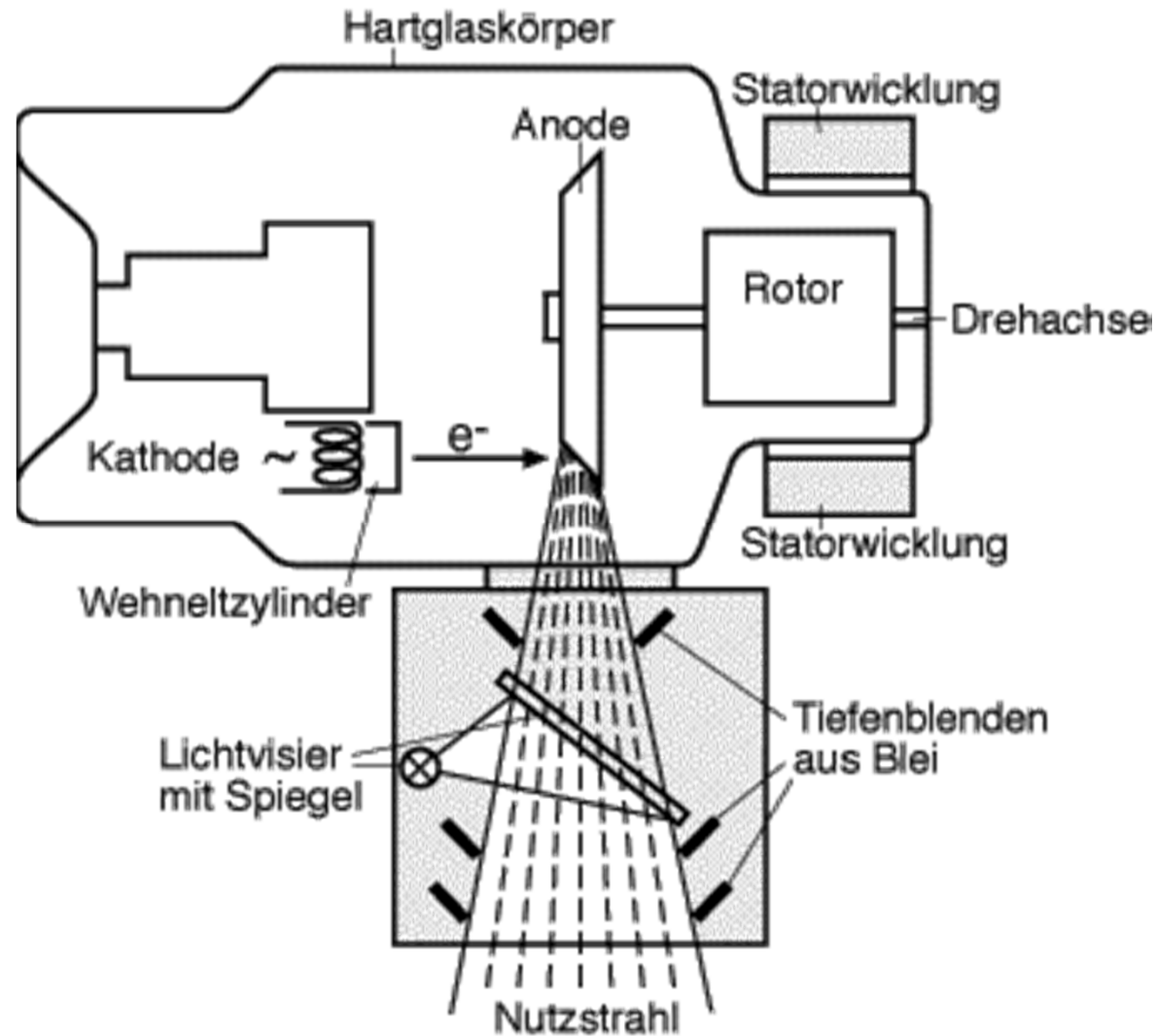
# rtg záření

- elektromagnetické záření s velmi krátkými vlnovými délkami ( $10\text{E}-9$  –  $10\text{E}-13$  m)
- schopnost ionizace a excitace
- nepřímo ionizující
- rychlost světla
- zdrojem je rentgenka
- vzniká zabrzděním urychlených elektronů v těžkých kovech
- brzdné X charakteristické





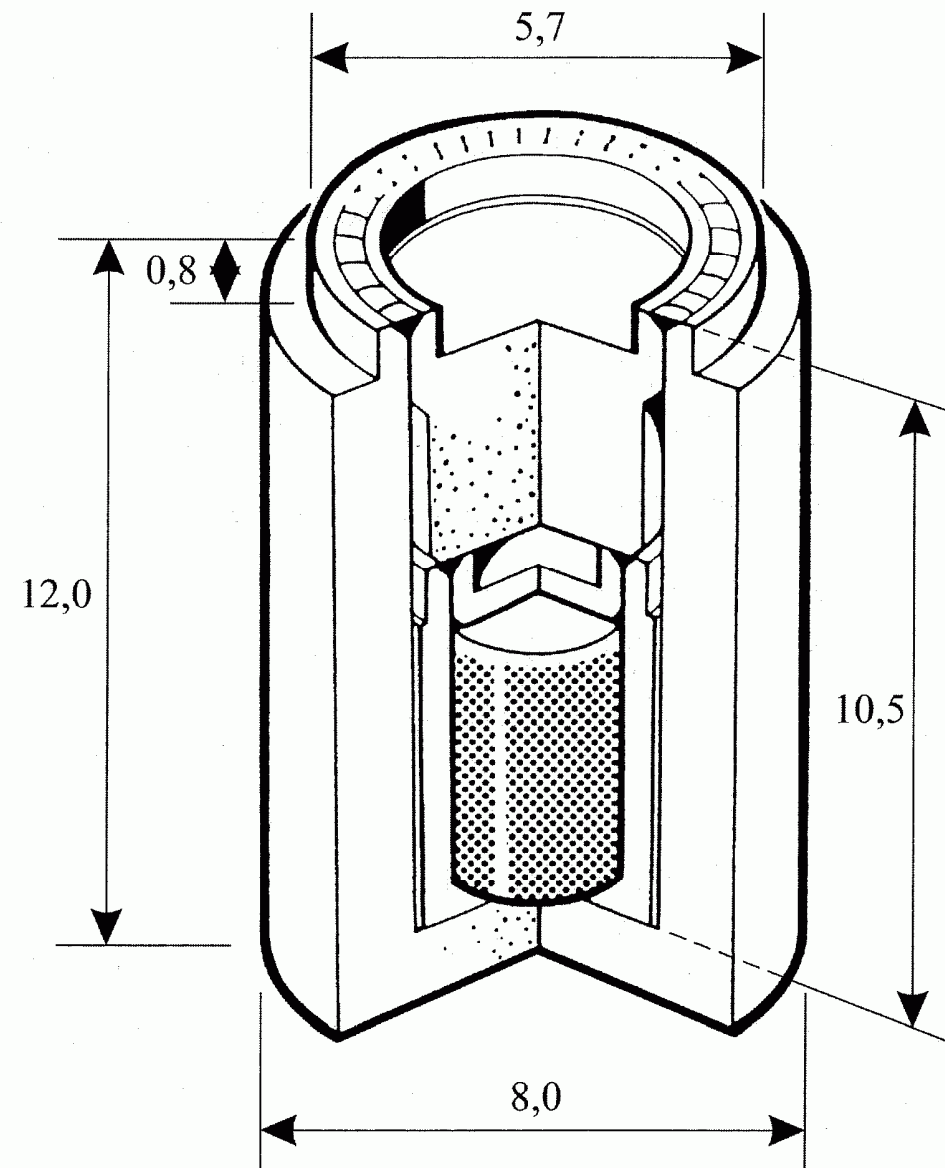
# Röntgenka





## Radionuklidové zářiče

- uzavřené
- otevřené





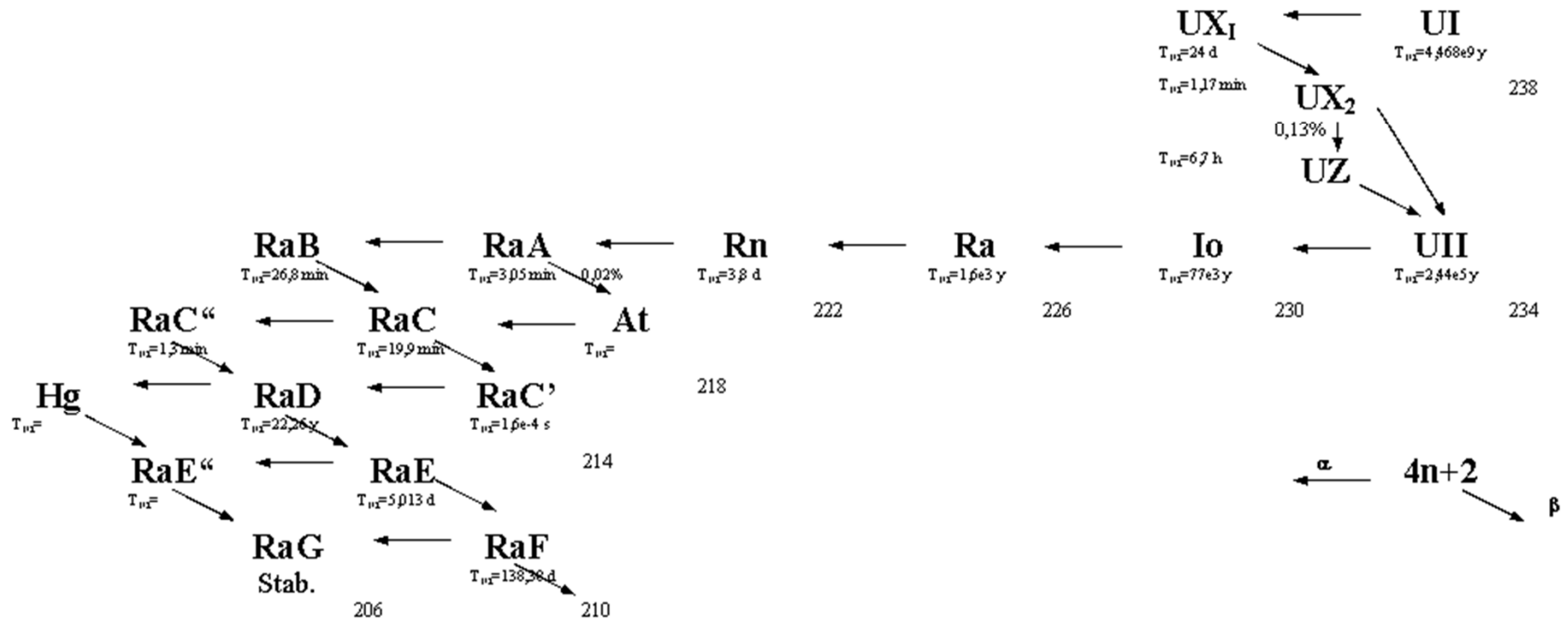
## Poločas přeměny

- $A = \frac{A_0}{2}$
- $A = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 2^{-\frac{t}{T}}$
- rozpadové řady



# Radon

II	III	IV	V	VI	VII	0	I	II	III	IV	V	VI
Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	Ac	Th	Pa	U
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92





## Veličiny a jednotky

- veličiny charakterizující zdroj

Veličina			Jednotka	
Název	Značka	Definice	Značka	Rozměr
aktivita	$A$	$A = \frac{\Delta N}{\Delta t}$	Bq	$s^{-1}$
měrná aktivita	$a_m$	$a_m = \frac{A}{m}$	Bq/kg	$s^{-1}kg^{-1}$
plošná aktivita	$a_S$	$a_S = \frac{A}{S}$	Bq/m <sup>2</sup>	$s^{-1}m^{-2}$
objemová aktivita	$a_V$	$a_V = \frac{A}{V}$	Bq/m <sup>3</sup>	$s^{-1}m^{-3}$



## Veličiny a jednotky

- veličiny charakterizující účinky IZ na látku

Veličina			Jednotka	
Název	Značka	Definice	Značka	Rozměr
Dávka	$D$	$D = \frac{E}{m}$	Gy	$\text{J.kg}^{-1}$
dávkový příkon	$\dot{D}$	$\dot{D} = \frac{D}{t}$	Gy/s	$\text{J.kg}^{-1}\text{s}^{-1}$
kerma	$K$	$K = \frac{E}{m}$	Gy	$\text{J.kg}^{-1}$



## Veličiny a jednotky

- veličiny charakterizující účinky IZ na látku

Veličina			Jednotka	
Název	Značka	Definice	Značka	Rozměr
ekvivalentní dávka	$H_T$	$H_T = w_R D_{TR}$	Sv	J.kg <sup>-1</sup>
efektivní dávka	$E$	$E = \sum_T w_T H_T$	Sv	J.kg <sup>-1</sup>
úvazek efektivní dávky	$E_{50}$	$E_{50} = \int_{t_0}^{t_0+50} \dot{E} dt$	Sv	J.kg <sup>-1</sup>



## Čerenkovovo záření

- není IZ!
- 1937 Frank,  
Tamm







## Působení IZ na látku

IZ svou energii předává látce, kterou se pohybuje – způsobuje ionizaci atomů tohoto prostředí

základní dozimetrické veličiny používané v RO

**absorbovaná** (fyzikální) **dávka D** – míra energie předané zářením látky

jednotka **Gy** (gray)

**expozice X** – udává celkový elektrický náboj vytvořený zářením v látce; je definována pouze pro fotonové záření ve vzduchu

jednotka **C.kg<sup>-1</sup>** (coulomb na kilogram)

dříve používaná **R** (rentgen)



míru biologického účinku absorbované dávky (pokud se záření šíří biologickou tkání) popisuje **ekvivalentní dávka H**; jednotka **Sv** (sievert)

odvodí se z absorbované dávky  $D$  vynásobením radiačním váhovým faktorem  $w_R$   
ekvivalentní dávka v tkáni nebo v orgánu

$$H_T = \sum_R w_R \cdot D_{T,R}$$

$D_{T,R}$  je průměrná absorbovaná dávka v tkáni nebo v orgánu  $T$ , v důsledku radiace  $R$



$w_R$  nabývá hodnot celých čísel od 1 do 20 podle druhu a energie záření, které působí na tkáň

**typ a energetické pásmo**

		$w_R$
fotony, všechny energie	1	
elektrony a mezony, všechny energie		1
neutrony energie < 10 keV		5
10 keV do 100 keV		10
> 100 keV do 2 MeV		20
> 2 MeV do 20 MeV		10
> 20 MeV		5
protony, energie >2 MeV		5
alfa částice, štěpné produkty, těžká jádra		20



**efektivní dávka E** - odvodí se z ekvivalentních dávek  $H_T$  ve všech ozářených orgánech/tkáních za pomoci tkáňového váhového faktoru  $w_T$

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T$$

$w_R$  pro danou tkáň/orgán má konkrétní hodnotu stanovenou v rozmezí od 0 do 1 a představuje relativní příspěvek tohoto orgánu nebo tkáně k celkovému poškození v důsledku účinků způsobených rovnoměrným ozářením celého těla; součet hodnot všech  $w_R$  je 1 resp. 100%

efektivní dávka se vztahuje ke stochastickým účinkům  
pomocí E lze převést libovolné lokální ozáření na rovnoměrné ozáření celého těla



## **tkáň nebo orgán**

	<b><math>w_T</math></b>
gonády	0,20
kostní dřeň (červená)	0,12
tlusté střevo	0,12
plíce	0,12
žaludek	0,12
močový měchýř	0,05
prs	0,05
játra	0,05
jícen	0,05
štítná žláza	0,05
kůže	0,01
kostní povrch	0,01
zbytek	0,05



## Biologické účinky

- elementárním působením IZ je ionizace a excitace atomů v organismu, které se dále může rozvinout ke vzniku radikálů a k biochemickým změnám
- teorie účinků IZ na živou hmotu
  - ✓ zásahová (přímý účinek)
    - o absorpce energie v citlivém objemu způsobí přímé fyzikální, fyzikálně-chemické nebo funkční změny zasažené struktury
  - ✓ radikálová (nepřímý účinek)
    - o ozáření molekul vody v živé tkáni vznikají H a OH radikály, které mohou nepřímo ovlivnit metabolické děje



- ✓ duálové radiační akce
- ✓ molekulárně-biologická
  - o IZ působí na nukleové kyseliny v jádru buňky, poškození je závislé na počtu vzniklých zlomů a působení reparačních dějů
- IZ působící na buňku může způsobit
  - ✓ smrt buňky
    - o v klidném období potřeba vysokou dávkou
    - o ozáření v okamžiku dělení buňky (mitózy) způsobí ztrátu schopnosti buňky dále se dělit, nastává při menších dávkách
  - ✓ změnu cytogenetické informace
    - o IZ vyvolává změny chromozomů v jádře buňky - mutace



- smrtící účinek IZ na buňky se nejvíce projeví ve tkáních, ve kterých probíhá rychlé buněčné dělení
- radiosensitivita – citlivost jednotlivých tkání a orgánů k ozáření
  - ✓ z hlediska destrukce tkáně nejvíce citlivé jsou tkáně, ve kterých probíhá rychlé buněčné dělení
    - o aktivní kostní dřeň, pohlavní žlázy, vnitřní epitel střeva
  - ✓ nejvíce odolné jsou tkáně, ve kterých se již buňky neobnovují
    - o svaly, centrální nervový systém
- z hlediska vztahu dávky a účinku
  - ✓ deterministické účinky
  - ✓ stochastické účinky





## Deterministické účinky

- nastávají v důsledku smrti části ozářených buněk
- projevují se až po dosažení prahové dávky, pod prahem se účinek neprojeví
- intenzita projevů stoupá s dávkou
- jsou vždy somatické, t.j. projeví se jen u ozářené osoby

**po jednorázovém (krátkodobém) ozáření vysokou dávkou (~ Gy) přesahující práh se vždy projeví**



- *časné účinky*
  - ✓ akutní nemoc z ozáření
    - o jednorázové celotělové ozáření dávkou větší než 1 Gy
    - o v závislosti na velikosti ozáření 3 typy - nejtěžší forma (desítky Gy) končí smrtí do několika hodin nebo dnů
  - ✓ akutní radiační dermatitida (zánět kůže)
    - o jednorázové ozáření vymezeného pole povrchu těla
    - o první stupeň - časné zarudnutí - od 3 Gy výše, objeví se do 2 - 3 dnů, ztráta ochlupení (od 6 Gy trvalá); pozdní zarudnutí - po 10 -15 dnech klidu, zduřená, bolestivá kůže



- o druhý stupeň - nad 10 Gy, puchýře
  - o třetí stupeň - odumření tkáně, vznik vředu
- ✓ poškození plodnosti
  - o po ozáření pohlavních žláz
  - o přechodné snížení počtu spermií po dávce 0,25 Gy; trvalá sterilita 3 - 8 Gy
  - o trvalá sterilita u žen po dávce kolem 3 Gy
- *pozdní účinky*
  - ✓ nenádorová pozdní poškození
    - opakované expozice v průběhu let, vysoký dávkový práh (fungují reparační procesy): chronický zánět kůže

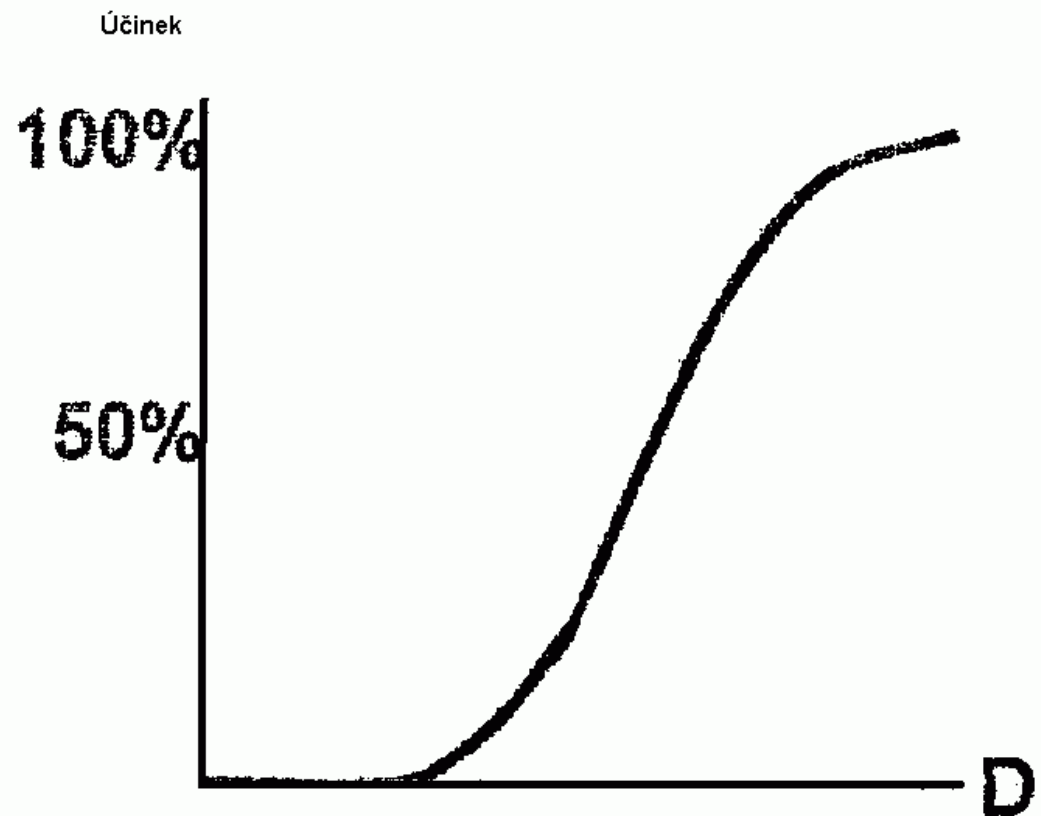


o zákal oční čočky - po dlouhé době po ozáření  
jednorázovou dávkou kolem 3 Gy, při dlouhodobě se  
opakujícím dílčím ozařování je práh 15 Gy a více



# Deterministické účinky

1. jsou prahové
2. poškození roste s velikostí dávky
3. lokální účinek
4. rozdíl mezi ozářením jednorázovým a protražovaným
5. lze klinicky prokázat





## Deterministické účinky

### Poškození plodu v těle matky

- 1. – 2. týden ( $D_p > 250$  mGy)
- 3. – 8. týden ( $D_p > 250$  mGy)
- 8. – 15. týden ( $D_p > 100$  mGy)

# Deterministické účinky:

- **akutní radiační dermatitida** – u dlouhých nebo opakovaných skiaskopických vyšetření
  - erytém, ztráta ochlupení, puchýře a vředy, nekróza



# Deterministické účinky:

- **akutní radiační dermatitida** – u lékařů, kteří provádějí dlouhá skiaskopická vyšetření
  - erytém, puchýře, podélné rýhování, lámání a odlupování nehtů, nekróza







# Deterministické účinky:

- **katarakta** – u lékařů, kteří provádějí dlouhá skiaskopická vyšetření





## Stochastické účinky

- jsou způsobeny změnami v genetické informaci buňky (mutacemi)
- pravděpodobnost výskytu stoupá s dávkou
- pozdní somatické (zhoubné nádory všech druhů) i genetické (poškození potomstva)
- klinicky neodlišitelné od spontánních případů - neexistují vlastnosti specifické pro nádor způsobený IZ

**pouze nulová dávka = nulová pravděpodobnost vzniku stochastických účinků**

**mohou se projevit po dlouhodobém opakovaném ozařování nízkými dávkami**



- *zhoubné nádory*
  - ✓ koeficient rizika smrti na rakovinu z ozáření
    - o  $400 \cdot 10^{-4}$  Sv pro pracovníky se zdroji IZ
    - o  $500 \cdot 10^{-4}$  Sv pro celkovou populaci
  - ✓ časový průběh
    - o nádor vznikne po několikaletém období latence po ozáření: u leukemie 5 - 20 let, u nádorů plic 10 - 40 let
- *genetické účinky*
  - ✓ koeficient rizika
    - o  $130 \cdot 10^{-4}$  Sv pro celkovou populaci



- vliv IZ na vývoj plodu
  - ✓ zárodek = systém rychle se dělících buněk – velmi radiosensitivní
  - ✓ poškození závisí na dávce a stupni vývoje plodu
    - o první dva týdny – všechno nebo nic
    - o 3. až 8. týden – vysoké riziko vzniku malformací, prahové dávky kolem 100 mGy
    - o 8. až 15. týden – může způsobit opoždění psychického vývoje narozených dětí
    - o poslední třetina těhotenství – poškození buněk se může projevit jako dědičné poškození nebo nádory v dětském věku

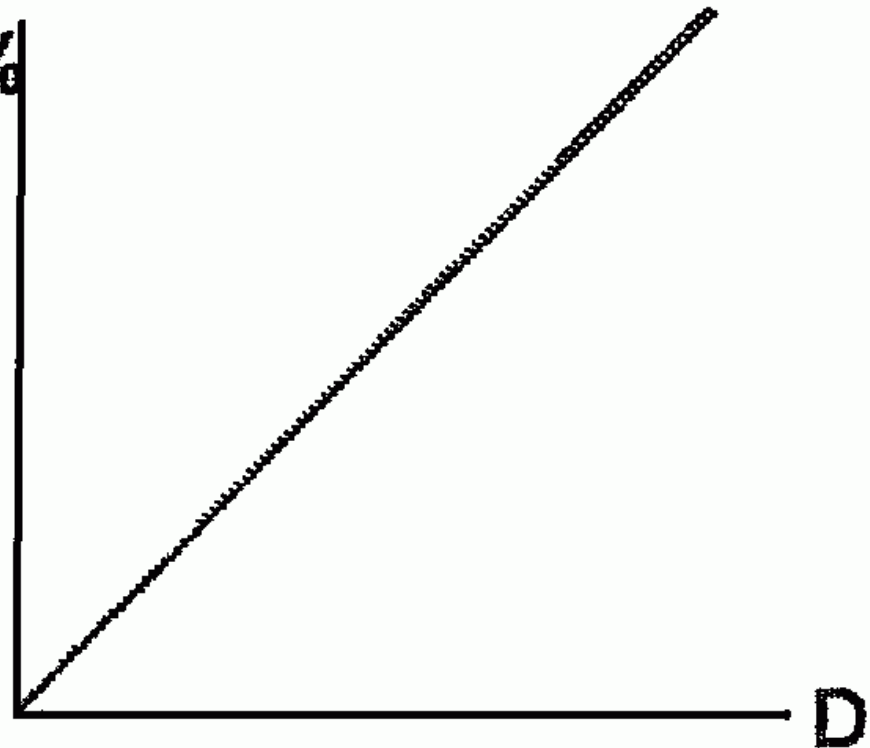


# Stochastické účinky

1. bezprahové
2. s rostoucí  $E$  roste  
pravděpodobnost výskytu
3. nezáleží na způsobu ozáření
4. nejsou lokální
5. velikost účinku nezávisí na dávce
6. latence

Pravděpodobnost účinku

100%





## Porovnání rizika

a) **vnější ozáření alfa zářením**

b) **vnitřní kontaminace ra látkou vyzařující alfa záření**

- rozhodující skutečnosti
  - ✓ velmi vysoká ionizační schopnost alfa záření a díky tomu velmi krátký dolet
  - ✓ radiační váhový faktor  $w_r$  pro alfa záření = 20
- ad a)
  - ✓ dolet alfa záření ve vzduchu = 5 až 6 cm
  - ✓ pokud je pracovní místo ve větší vzdálenosti – záření ke tkáni ani nedoletí



- ✓ pokud je pracovní místo v menší vzdálenosti – záření se absorbuje v povrchové odumřelé vrstvě pokožky resp. v oděvu – nezpůsobí poškození živých buněk
- ad b)
  - ✓ alfa zářič je usazený ve tkáni
  - ✓ alfa částice ozařují buňky v bezprostředním okolí – s nejvyšším možným biologickým účinkem

**vyšší riziko = vnitřní kontaminace alfa zářičem**

## Ochrana před ionizujícím zářením:

- čas
- vzdálenost
- stínění





*Flexible solutions*

## Ochrana před ionizujícím zářením:

- čas
  - maximální zkrácení doby vystavení rtg. záření
  - při dlouhých intervenčních výkonech hrozí poškození kůže (radiační dermatitida)



*Flexible solutions*

## Ochrana před ionizujícím zářením:

- vzdálenost
  - dávka se snižuje s druhou mocninou vzdálenosti
  - při snímkování (skiaskopii) se držet co nejdále od rtg. přístroje



*Flexible solutions*

## Ochrana před ionizujícím zářením:

- stínění
  - pomocí materiálů, které jsou schopny pohltit rtg. záření
  - např. olovo, ocel, barytový beton
  - používání ochranných pomůcek

## Ochranné pomůcky:





*Flexible solutions*

- **CÍL RADIČNÍ OCHRANY:**
- Vyloučit deterministické účinky záření a riziko stochastických účinků udržovat na rozumně přijatelné nízké úrovni.
- **PRINCIPY RADIČNÍ OCHRANY:**
- **Zdůvodnění činnosti (*justification of a practice*):** Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, musí dbát na to, aby toto jeho jednání bylo odůvodněno přínosem, který vyváží rizika, která při těchto činnostech vznikají nebo mohou vzniknout.
- **Limitování ozáření:** Každý, kdo provádí činnosti vedoucí k ozáření, je povinen omezovat ozáření osob tak, aby celkové ozáření způsobené možnou kombinací ozáření z činností vedoucích k ozáření nepřesáhlo v součtu stanovené limity.
- **Optimalizace ochrany (*optimisation of protection*):** Každý, kdo využívá jadernou energii nebo provádí činnosti vedoucí k ozáření nebo provádí zásahy k omezení přírodního ozáření nebo ozáření v důsledku radiačních nehod, je povinen dodržovat takovou úroveň jaderné bezpečnosti, radiační ochrany, fyzické ochrany a havarijní připravenosti, aby riziko ohrožení života, zdraví osob a životního prostředí bylo tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při uvážení hospodářských a společenských hledisek.
- **Zajištění bezpečnosti zdrojů:** Bezpečnostní kultura musí usměrňovat přístupy a chování při používání zdrojů. Ochrana a bezpečnost zdrojů má být zajištěna řádným řízením, dobrou technikou, systémem zabezpečení jakosti a výcvikem a vzděláváním personálu.

## Legislativní požadavky:

- Atomový zákon (zákon č. 18/1997 Sb. o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření)
- vyhlášky SÚJB (č. 307/2002, 318/2002, č. 146/1997, č. 132/2008)
- školení radiačních pracovníků – 1x ročně
- lékařský dohled
- osobní monitorování



Flexible solutions

- osobní dozimetrie

- pomocí osobních dozimetrů, které radiační pracovníci nosí nestíněný na levé straně hrudníku během všech prací s ionizujícím zářením
- tyto dozimetry jsou ve stanovených časových intervalech (zpravidla 1 měsíc) centrálně vyhodnocovány, výsledkem jsou hodnoty dávek (v mSv)





*Flexible solutions*

# Osobní dozimetr LANDAUER typ InLight

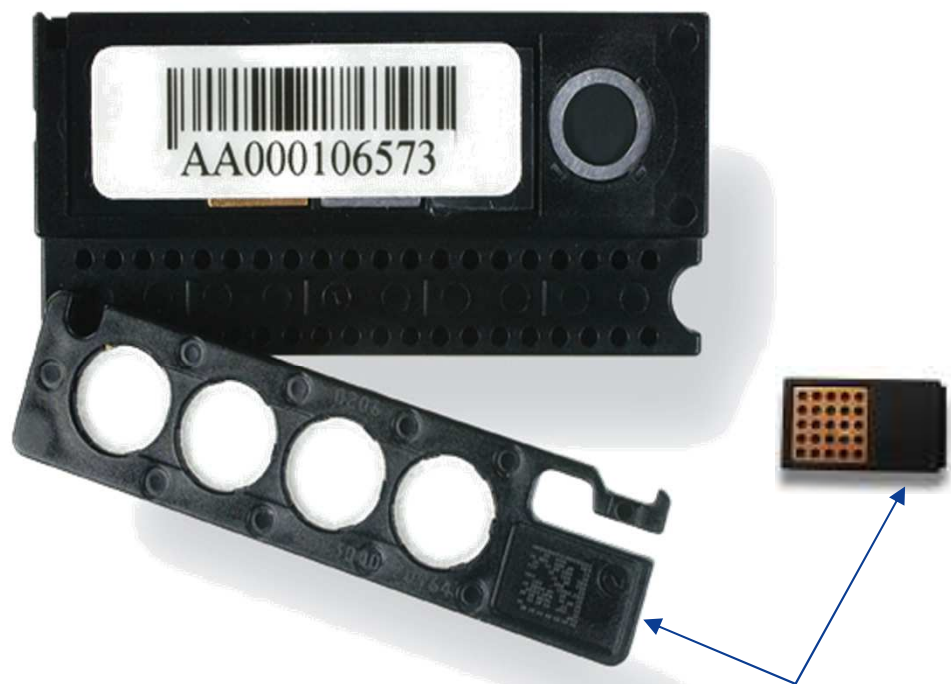






Flexible solutions

# Kazeta s filtry a nosičem dozimetrů



Detekční elementy:  
(krystalický  $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ )

2D kód



Filtr	$\text{mg}\cdot\text{cm}^{-2}$	
Okno	29	Dávka od beta
Plastik	275	Energie beta Dávka od fotonů
Hliník	375	Energie fotonů
Měď	545	Dávka od fotonů Energie fotonů



*Flexible solutions*



## **Základní princip OSL**

ozáření detektoru

záchyt elektronů  
v „dozimetrických pastech“

stimulace detektoru zeleným  
světlem LED diody (532nm)

uvolnění zachycených  
elektronů doprovází emise  
modrého světla (420nm)

vyzářené světlo je úměrné  
obdržené dávce ( $\approx$ TLD)



*Flexible solutions*

## **Limity:**

### **pro radiační pracovníky:**

- 50 mSv / rok
- 100 mSv / 5 let
- 150 mSv v oční čočce / rok
- 500 mSv v 1 cm<sup>2</sup> kůže / rok
- 500 mSv na končetiny / rok

### **obecné:**

- 1 mSv / rok
- 15 mSv v oční čočce / rok
- 50 mSv v 1 cm<sup>2</sup> kůže / rok

## Kontrolované pásmo:



KONTROLOVANÉ PÁSMO  
SE ZDROJI IZ,  
VSTUP NEPOVOLANÝM  
OSOBÁM ZAKÁZÁN

- vymezuje se všude tam, kde by efektivní dávka mohla překročit **6 mSv** ročně nebo by ekvivalentní dávka mohla překročit 3/10 limitu pro radiační pracovníky pro oční čočku, kůži nebo končetiny
- volný přístup jen radiační pracovníci kategorie A
- jiné osoby jen po prokazatelném poučení o chování v KP; jejich pobyt se eviduje
- vchody musí být označeny a zabezpečeny proti vstupu nepovolaných osob
- v KP je zakázáno jíst a pít



*Flexible solutions*

## **Sledované pásmo:**

- vymezuje se všude tam, kde se předpokládá, že by mohlo dojít k překročení některého z obecných limitů
- volný přístup radiační pracovníci kategorie A i B
- jiné osoby jen po prokazatelném poučení o chování v SP; jejich pobyt se eviduje



*Flexible solutions*

# Vnitřní havarijní plán



*Flexible solutions*

## **Mimořádná událost 1. stupně:**

- vede nebo může vést k nepřijatelnému ozáření zaměstnanců a dalších osob nebo nepřijatelnému uvolnění radioaktivních látek do prostor zařízení nebo pracoviště
- má omezený, lokální charakter a k jejímu řešení jsou dostačující síly a prostředky obsluhy
- bezdůvodné náhodné neopakované ozáření pracovníka zdržujícího se v blízkosti zdroje záření zaviněné nedbalostí jiného pracovníka
- trvalé exponování, nemožnost ukončení expozice za přítomnosti osob
- požár



*Flexible solutions*

## **Mimořádná událost 2. stupně:**

- vede nebo může vést k nepřipustnému závažnému ozáření zaměstnanců a dalších osob nebo k nepřipustnému uvolnění ra látek do životního prostředí, které nevyžaduje zavádění opatření k ochraně obyvatelstva a životního prostředí
- její řešení vyžaduje aktivaci zasahujících osob držitele povolení a k jejímu zvládnutí jsou dostačující síly a prostředky držitele povolení
- ztráta nebo odcizení zdroje záření



## Zásahové postupy:

- varování ohrožených osob
- zabránění dalšímu ozařování
- v případě potřeby poskytnutí první pomoc
- oznámení MU dohlížející osobě, osobě s přímou odpovědností a vedoucímu servisu společnosti GEMS, příp. dohlížející osobě zákazníka



*Flexible solutions*

## **Zásahové postupy (DO, OSPO):**

- likvidace MU na základě zásahových instrukcí (jsou přílohou VHP)
- do 24 hodin (MU 1. stupně) nebo bezodkladně, nejpozději do 4 hodin (MU 2. stupně) od zjištění MU oznámení MU RC SÚJB
- zaznamenávání příkazů pro řízení zásahu, veličiny, parametry a skutečnosti důležité a rozhodující při řízení a provádění zásahu
- navrhnutí opatření k minimalizování možnosti opakování MU



## Osobní dozimetrie

- slouží k monitorování osobních dávek pracovníků
- provádí se pomocí osobních dozimetrů
  - ✓ filmové (FD)
    - o IZ způsobí narušení citlivé vrstvy (fotografického) filmu – po vyvolání filmu zčernání: měří se hustota zčernání (densita) - je úměrná dávce
    - o složení: speciální dozimetrický film, rozdělený na několik polí překrytých filtry různých materiálů a tloušťek, uložený v plastové kazetě
    - o kromě celkové dávky umožňuje určit, zda se jedná o dávku jednorázovou, směr ozáření, částečně energii záření



- ✓ termoluminiscenční (TLD)
  - o IZ způsobí v TL materiálu záchyt elektronů v elektronových pastích – po zahřátí materiálu se elektrony uvolní za současné luminescence: fotonásobičem se měří množství uvolněných luminescenčních fotonů – to je úměrné dávce
- ✓ elektronické (EPD)
  - o IZ vyvolá v polovodiči proud – je úměrný dávce
  - o díky připojené elektronice umožňuje rekonstruovat historii ozáření
- každá šarže FD a TLD připravených k monitorování osob musí obsahovat i kalibrační – musí se připravit a vyhodnotit naprosto stejným způsobem jako ostatní, jsou však ozářeny známou dávkou



- ✓ vyhodnocení se provádí porovnáním odezvy s odezvou kalibračních
- pro účely RO jsou kalibrovány ve veličinách (měří veličiny)
  - ✓  $H_p(0,07)$  osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm
  - ✓  $H_p(10)$  osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm
- provádění osobní dozimetrie je služba vyžadující povolení SÚJB
  - ✓ Celostátní služba osobní dozimetrie s.r.o.
  - ✓ vyhodnocování FD a TLD provádí v jednoměsíčních nebo v tříměsíčních cyklech



## Limitování ozáření

- limit - prostředek k omezování ozáření
- závazný ukazatel pro celkové ozáření z radiačních činností, jehož překročení není přípustné
- obecné limity (pro osoby, které nejsou radiačními pracovníky)
  - ✓ základní limit je 1 mSv součtu efektivní dávky z vnějšího ozáření a z příjmu ra látky za rok
  - ✓ výjimečně a za zvlášť stanovených podmínek 5 mSv efektivní dávky za 5 po sobě následujících roků
- limity pro radiační pracovníky
  - ✓ základní limit je 50 mSv součtu efektivní dávky z vnějšího ozáření a z příjmu ra látky za rok a současně 100 mSv za 5 po sobě následujících roků



- limity pro učně a studenty
- kromě základních limitů v efektivní dávce jsou stanoveny ještě limity v ekvivalentní dávce např. pro ozáření kůže, končetin nebo oční čočky
- odvozené limity - vyjádřené v měřitelných veličinách (= osobní dávkový ekvivalent v hloubce 0,07 mm a osobní dávkový ekvivalent v hloubce 10 mm)
  - ✓ pro profesní ozáření se nepřekročení limitů ozáření považuje za dostatečně prokázané, nejsou-li překročeny odvozené limity
  - ✓ pro zevní ozáření:
    - o pro  $H_p(0,07)$  hodnota 500 mSv za kalendářní rok
    - o pro  $H_p(10)$  hodnota 20 mSv za kalendářní rok



- limitování ve zvláštních případech, např.
  - ✓ ozáření plodu u těhotných žen pracujících na pracovištích se zdroji IZ - 1 mSv po dobu od oznámení těhotenství zaměstnavateli do konce těhotenství
  - ✓ ozáření osob, které žijí v jedné domácnosti s pacienty, kteří byli po aplikaci radionuklidů propuštěni ze zdravotnického zařízení - za kalendářní rok 1 mSv u osob mladších 18 let a 5 mSv u ostatních osob
- hodnoty limitů byly stanoveny na základě historických zkušeností (výsledků dlouhodobých epidemiologických studií) a globálních ekonomických a sociálních poměrů tak, aby představovali ještě přijatelné riziko poškození zdraví





- hodnoty limitů byly stanoveny na základě historických zkušeností (výsledků dlouhodobých epidemiologických studií) a globálních ekonomických a sociálních poměrů tak, aby představovali ještě přijatelné riziko poškození zdraví
- ozáření dávkou převyšující limit nemusí nutně vést ke zdravotní ujmě
  - ✓ prahové dávky deterministických účinků jsou minimálně o jeden řád vyšší než ty, které vedou k naplnění limitů - způsobí však zvýšení pravděpodobnosti stochastického účinku
- do čerpání limitů se nezapočítávají
  - ✓ dávky obdržené v rámci diagnostiky nebo léčby ve zdravotnictví
  - ✓ dávky z přírodních zdrojů, pokud tyto zdroje nejsou cílevědomě využívány



- ✓ dávky obdržené při vzniku a likvidaci havarijních situací se evidují odděleně



## Kontrola povrchové kontaminace pracovníků

- je běžnou a pravidelnou součástí monitorování na pracovištích s ORZ
  - ✓ zpravidla po ukončení manipulací s ra látkami resp. při výstupu z KP s ORZ
  - ✓ kontroluje se kontaminace rukou, nohou (chodidlové části obuvi), pracovního oděvu
- provádí se pomocí přenosných přístrojů nebo monitorů plošné aktivity instalovaných u výstupu z KP
  - ✓ velkoplošné detektory pro měření plošné aktivity
  - ✓ zpravidla kalibrační koeficienty pro používané radionuklidy



## Radiační zátěž pracovníků

- typické hodnoty ročních efektivních dávek radiačních pracovníků dosahované při normálním provozu na některých typech pracovišť/prací
  - ✓ rtg diagnostika
    - o pouze skiagrafie < 0,5 mSv
    - o angiografie, intervenční výkony > 15 mSv
  - ✓ radioterapie
    - o pouze urychlovač nebo rtg ozařovač < 0,5 mSv
    - o ra ozařovače do 1,5 mSv
  - ✓ nukleární medicína ~ 1 – 3 mSv
  - ✓ defektoskopie ~ 3 – 5 mSv
  - ✓ prům. měřicí a indikační zařízení < 0,5 mSv



# Způsoby ochrany před zevním ozářením

- **zvětšování vzdálenosti** pracovníka od zdroje záření, kdy expoziční příkon klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje. K přemísťování radioaktivních látek potom používáme kleště, pinzety, dálkové manipulátory. Zvětšování vzdálenosti vede nejen ke snížení expozičního příkonu pro ruce a prsty, ale i pro celé tělo;
- **zkracování doby expozice**, kdy je potřeba pracovat bez časových ztrát, a proto je třeba věnovat zvýšenou pozornost organizaci práce. Je nezbytné při práci s vyššími aktivitami nacvičit potřebné operace předem, s neaktivními látkami;
- **stínění zdroje i pracovníka**, protože pronikavost záření závisí na druhu a energii záření, na druhu a tloušťce stínícího materiálu. Znalost fyzikálních principů interakce záření s látkou umožňuje výběr druhu a tloušťky materiálů. Záření  $\beta$  je absorbováno vzorkem tkáně tenčím než 10 mm, proto k ochraně postačí tenký kryt z hliníku nebo organického skla. Při záření  $\gamma$  a rentgenovém, která pronikají prostředím mnohem lépe, se používají látky s vysokým  $Z$ , jakými je olovo, případně železo.



# Klasifikace pracovišť

- I. kategorie
- Hladinoměry



- III. kategorie
- Radioterapie, ozařovny



- II. kategorie
- Rtg diagnostika



- IV. kategorie
- Jaderné elektrárny, úložiště RAO





**VF, a.s., Česká republika**

<http://www.vf.cz>

**VF, s.r.o., Slovenská republika**

<http://www.vf.sk>