



# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ



- **Přirozená a umělá radioaktivita**
- Radioaktivní - jádra nestabilní, spontánně se měnící v přírodě - přirozeně radioaktivní. Z jaderných reakcí uměle radioaktivní.
- Přirozeně radioaktivní izotopy se dělí na dvě skupiny :
- Lehké přirozeně radioaktivní izotopy s atomovým číslem  $Z \leq 75$ , například  $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{139}\text{La}$ , aj. Hranice mezi nimi a těžkými přirozeně radioaktivním izotopy není náhodná. Lehké netvoří rozpadové řady vnikají stabilní jádra. Největší biologická důležitost  $^{40}\text{K}$  a  $^{14}\text{C}$ .
- Těžké přirozeně radioaktivní izotopy se mění na jiné nestabilní izotopy a vytvářejí tak tři rozpadové řady:
- urano-radiovou, aktiniovou, thoriovou

*mateřský, vznikající izotop pak nazýváme dceřinný.*



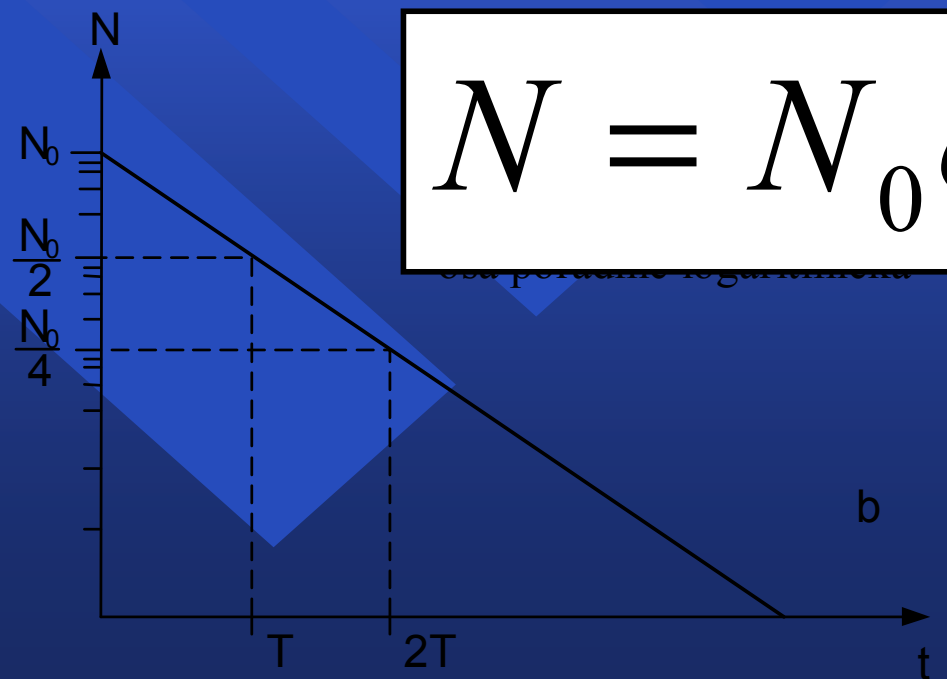
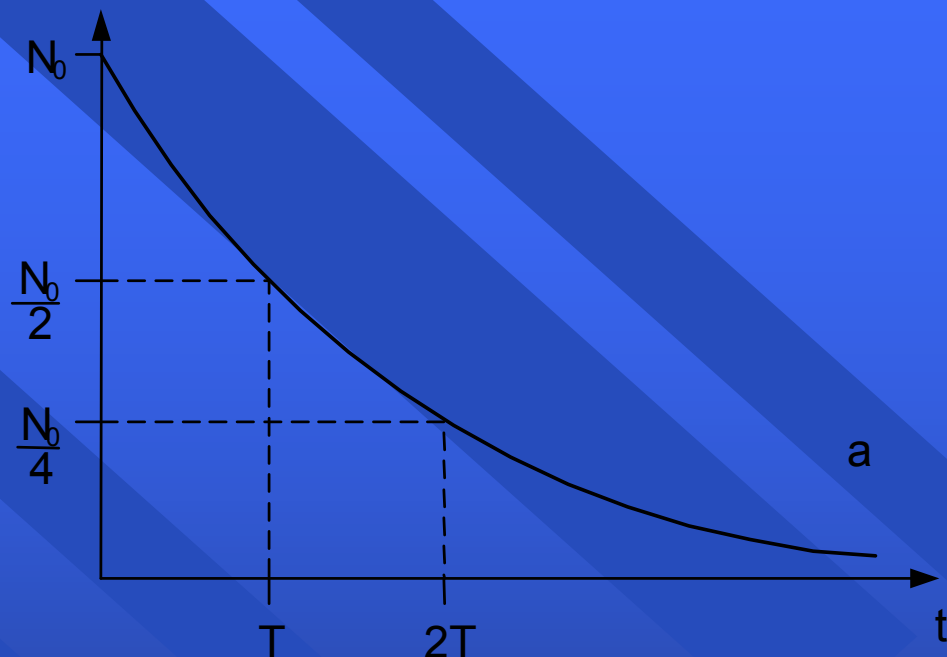


# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 2



## ■ Radioaktivní rozpad

- $N_0$  určitého prvku, děj náhodný, nicméně je možné počet přeměn matematicky popsat.
- Počet jader přeměněných za  $dt$  bude  $dN$
- $\lambda$  se nazývá přeměnová nebo rozpadová konstanta (poměrná rychlost rozpadu)



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



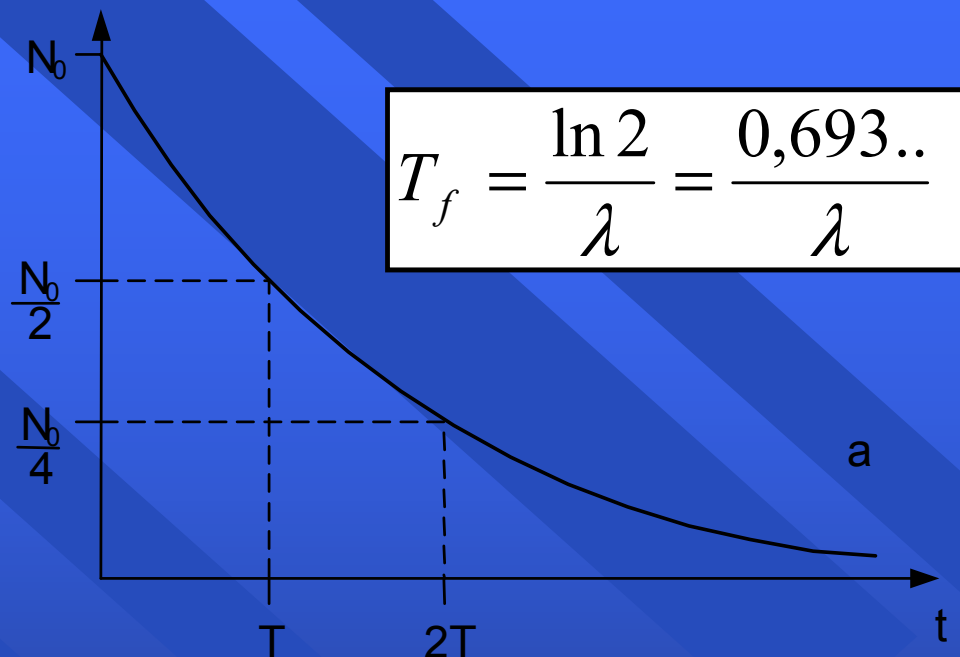


# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 3

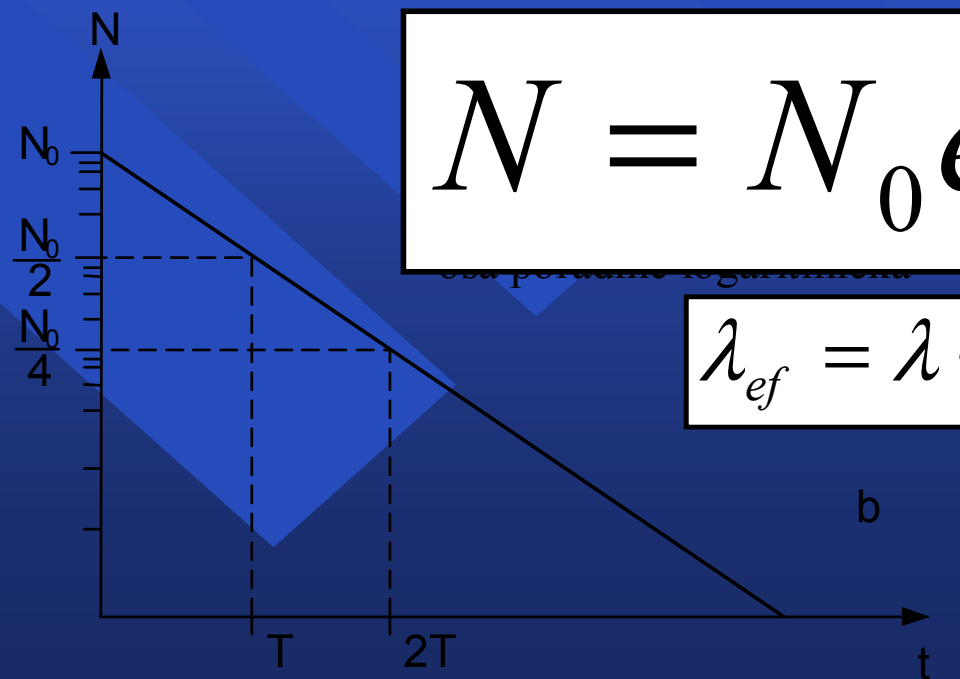


- **Radioaktivní rozpad**
- *Fyzikální poločas rozpadu  $T_f$ , pak*
- *$N$  má hodnotu  $N_0/2$*
- *Biologický poločas  $T_b$*
- *Efektivní poločas  $T_{ef}$ .*

$$\frac{1}{T_{ef}} = \frac{1}{T_f} + \frac{1}{T_b}$$



$$T_f = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693..}{\lambda}$$



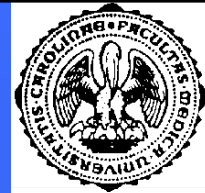
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\lambda_{ef} = \lambda + \lambda_b$$





# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 4



## ■ *Aktivitou A*

■ počet atomů přeměně za jednu s

■  $A = \lambda N$  Jednotkou aktivity becquerel (Bq)

(vzorek má aktivitu 1 Bq, jestliže se v něm za 1 s přemění 1 atom)

Rozpadová konstanta  $\lambda$  - pro každý radioizotop určitou  
charakteristickou hodnotu





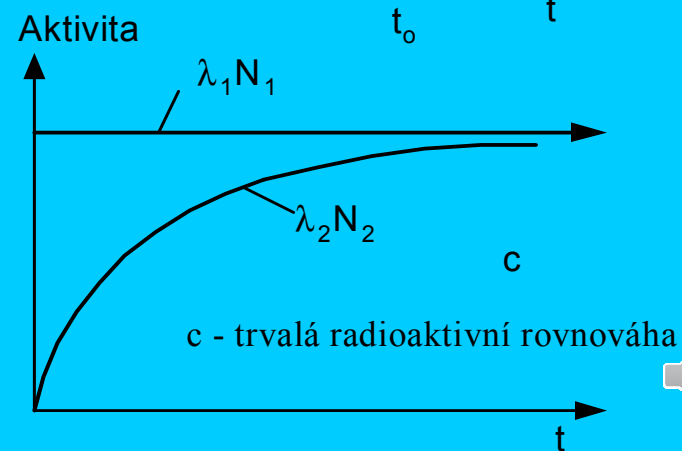
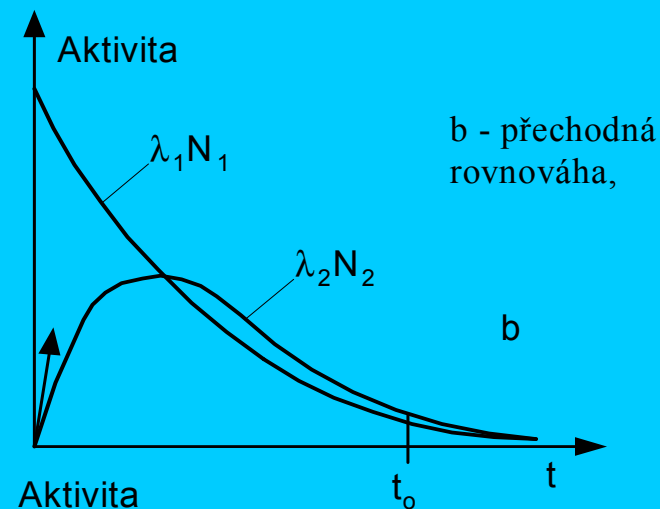
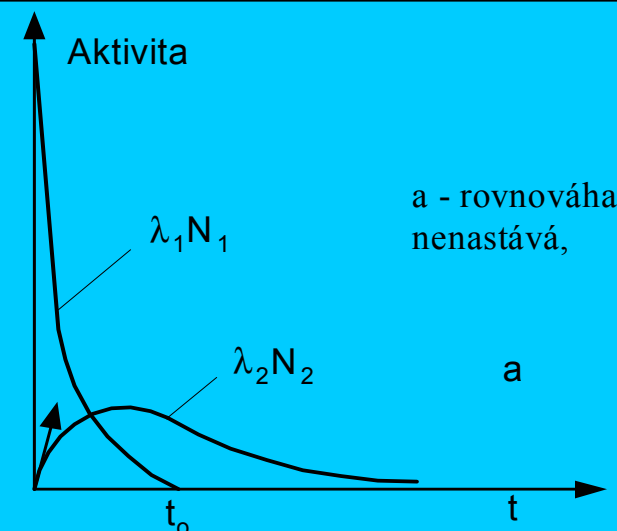
# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 5

Schéma  $A \rightarrow B \rightarrow C$

- a.  $T_1 \ll T_2$
- b.  $T_1 < T_2$       $T_1 = T_2$
- c.  $T_1 \gg T_2$

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2 = \dots = \lambda_n N_n$$

1+1 je nyní 2 a světelné kvantum



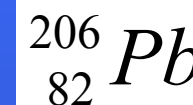
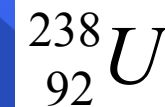


# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 6

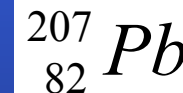
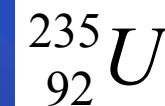
## Radioaktivní řady



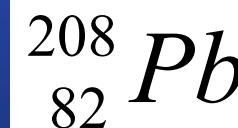
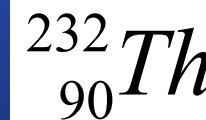
- **Uran-radiová řada.** mateřský je uran ( $T_f \cong 4,56.109$  roků). Tato řada končí stabilním olova . Nukleonová čísla členů této řady jsou charakterizována vzorcem  $A = 4n + 2$ ; Tato řada je z hlediska využití přirozeně radioaktivních prvků v medicíně nejdůležitější, obsahuje radium a radon, prvky, které jsou terapeuticky využívány (např. v balneologii).



- **2. Aktiniová řada.** Mateřským prvkem je aktinouran čili ( $T_f \cong 8,5.108$  roků). Tato řada končí stabilním izotopem olova . Obecný vzorec nukleonového čísla všech členů této řady je  $A = 4n + 3$ .



- **3. Thoriová řada.** Thorium ( $T_f \cong 1,39.1010$  roků) Obecný vzorec nukleonového čísla členů této řady je  $A = 4n$ .



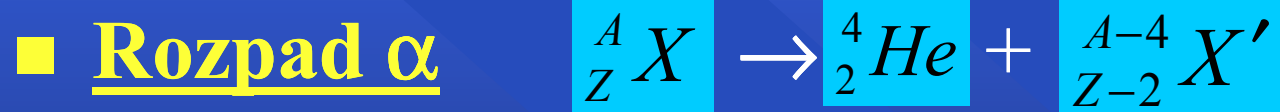


# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 7

## Druhy radioaktivního rozpadu



- § 1. *Zákon zachování elektrického náboje.*
- § 2. *Zákon zachování počtu nukleonů*
- § 3. *Zákon zachování hybnosti*
- § 4. *Zákon zachování energie*



*Klasická fyzika nedokázala rozpad  $\alpha$  vysvětlit.*

Velikost kinetické energie částic  $\alpha$  je řádově MeV, což odpovídá rychlostem kolem 104 km/s, tedy rychlostem nerelativistickým (menším než 1/10 rychlosti světla ve vakuu)





# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 8



## Rozpad $\beta$

- *Emise elektronu*  ${}_{Z+1}^A X'$   ${}_{-1}^0 e$   ${}_{0}^0 \tilde{\nu}_e$
- *Emise pozitronu* jaderný proton mění v neutron při současné emisi pozitronu a elektronového neutrina  ${}_{Z-1}^A X'$   ${}_{1}^0 e$
- *Záchyt elektronu z elektronového obalu*  ${}_{Z-1}^A X'$
- *U všech je  $\gamma$  – záření – elektromg. záření*

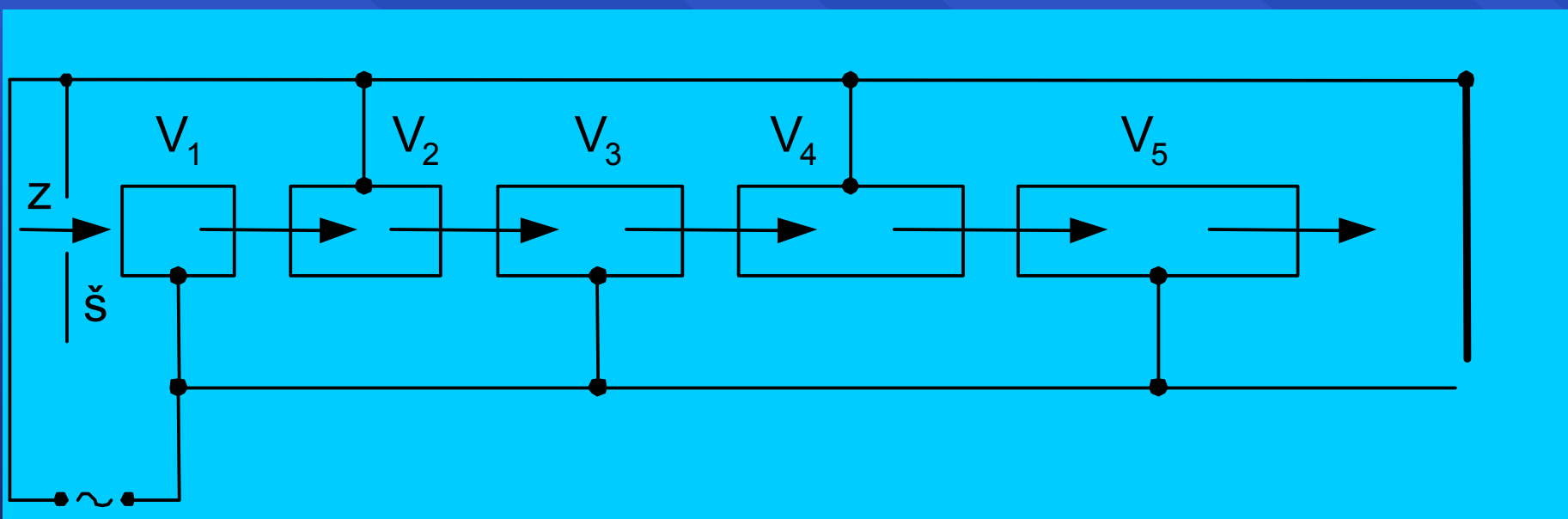






# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 9

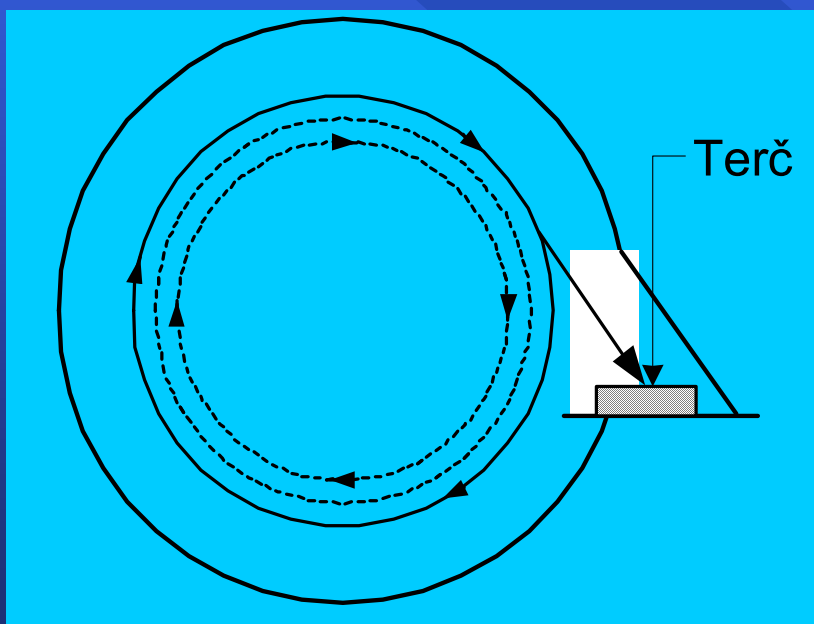
- **Jaderná izomerie**
- Rozpady chytají energii okolní elektrony a tak září celé spektrum *Elektrony vnitřní konverze*.
- **Lineární urychlovače**



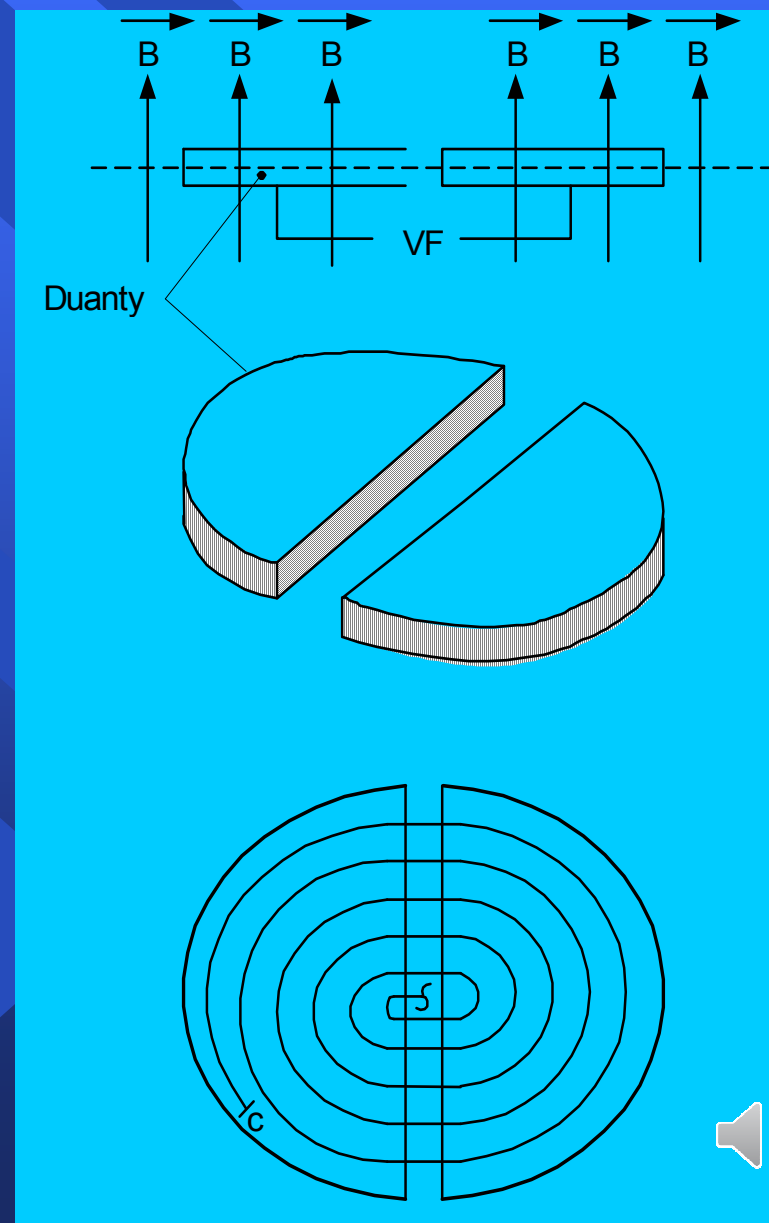


# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 10

- **Kruhové urychlovače** protonů, částic  $\alpha$  - *cyklotron*.
- Pro elektrony *betatron*



*hmotnost elektronu díky relativistické rychlosti již asi 600 krát převyšuje jeho klidovou hmotnost*





# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ 11

**Neutrony** *nemají náboj jen zpomalovat větší než 0,5 MeV a pomalé menší  $10^{-3}$  eV až do 15 MeV reaktor neutrony štěpení*

## Záření $\gamma$

### *Kobaltová bomba*

*$^{60}\text{Co}$  o aktivitě řádově  $10^{11}$ – $10^{12}$  Bq o energii přes 1 MeV dlouhému poločasu kolem 5 roků*

**Kosmické záření**  
**10 GeV**

## Interakce záření s hmotou

ztráty jsou: ionizace, excitace, rozptyl, a buzení brzdného záření, popřípadě jaderné interakce.





# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

## Interakce záření s hmotou

ztráty jsou: ionizace, excitace, rozptyl, a buzení brzděného záření, popřípadě jaderné interakce.

*Primární ionizace*

*sekundární ionizace.*

*Celková ionizace je pak součtem primární a sekundární ionizace.*

$\alpha$  – částice malý dolet

$\beta$  – lehké, malý náboj

$\gamma$  – Fotoelektrický jev, Comptonův rozptyl



$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

*Poloviční tloušťka (polotloušťka)  $D_{1/2}$*

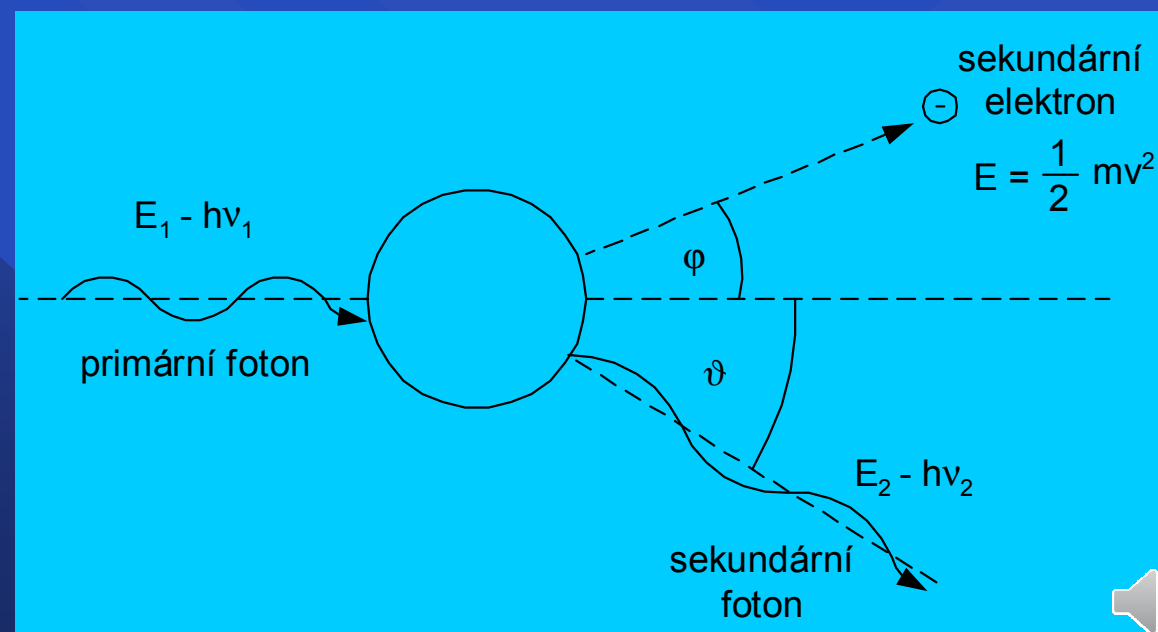
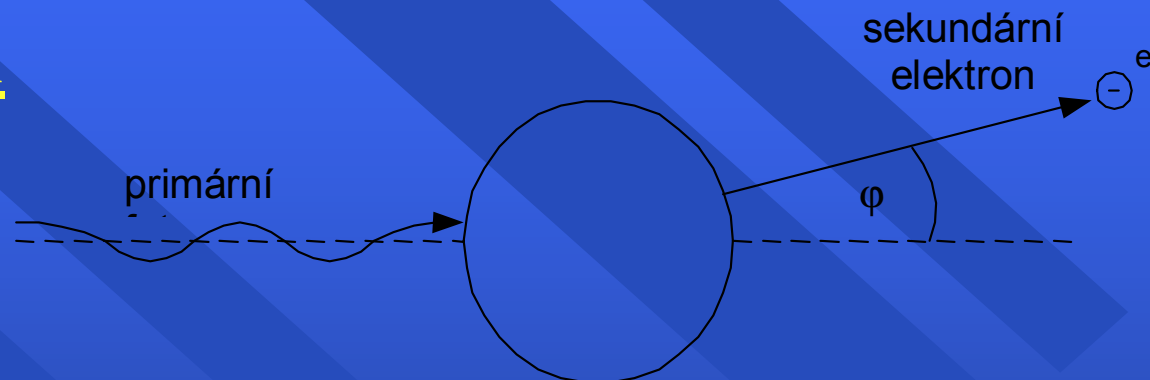




# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

## Interakce záření s hmotou

$\alpha$  – částice malý dolet  
 $\beta$  – lehké, malý náboj  
 $\gamma$  – Fotoelektrický jev,  
Comptonův rozptyl





# RADIOAKTIVITA A IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ

## Interakce záření s hmotou

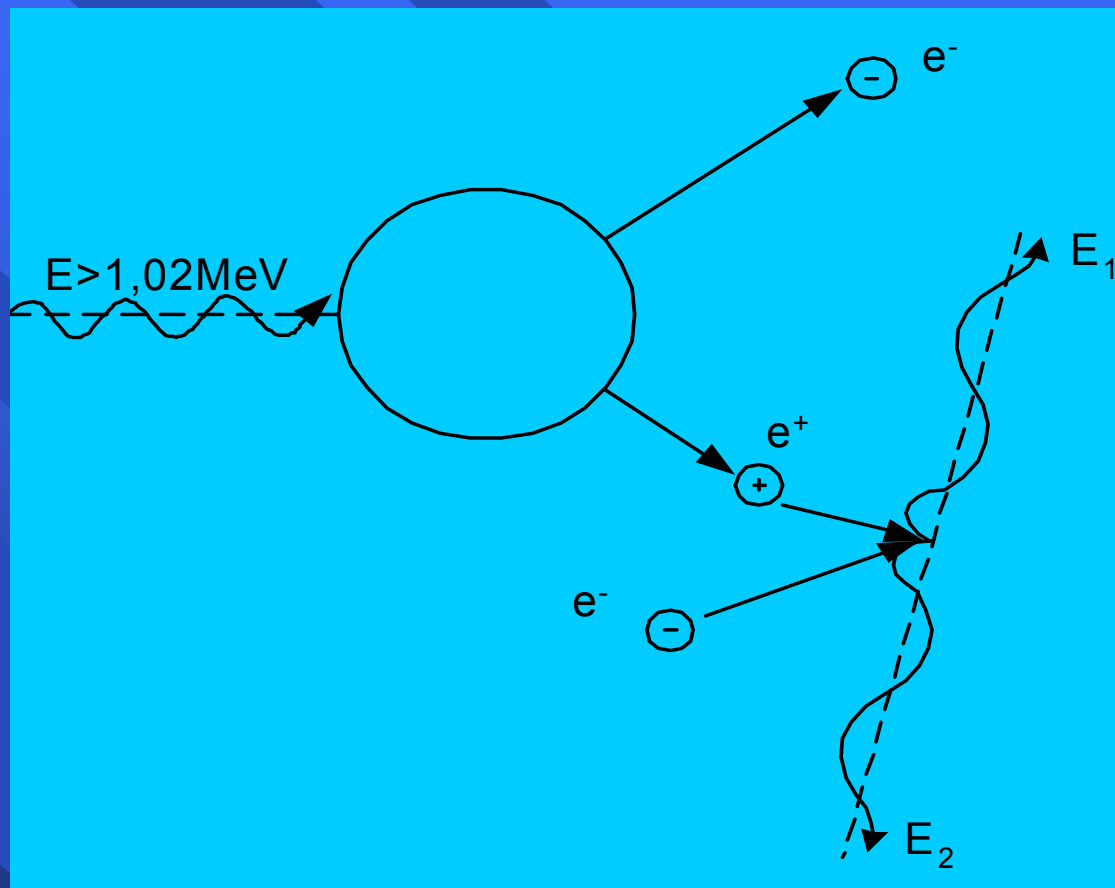
$\gamma$ -Tvorba elektron-pozitronových párů  
Vysoká energie (RTG nestačí)

$MeV = 1,02 MeV$

$$hf = E_{k,e} + E_{k,p} + 2m_e c^2$$

2 kvanta, každé o energii 0,51 MeV,  
odpovídající klidové hmotnosti  
elektronu. Tato kvanta se pohybují  
navzájem opačným směrem

## PET



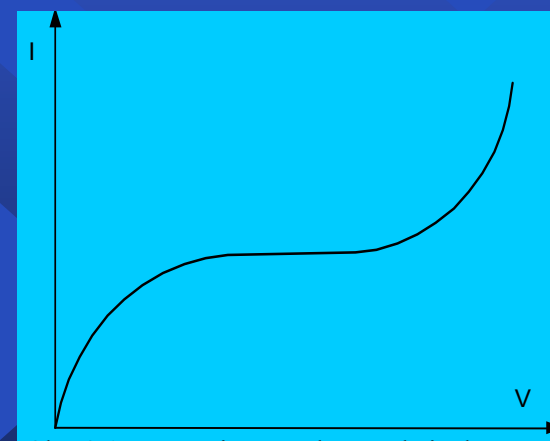
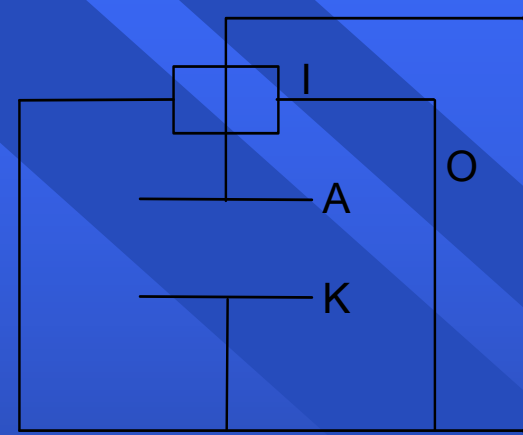
*Interakce neutronů*  
*Terče, exotermický*  
*Endotermický děj*





# Detekce ionizujícího záření

- Ionizační komory *upravený kondenzátor*
- **10 MBq**, lze ionizační **proud** měřit galvanometrem. Mluvíme o střední hodnotě toku záření nebo celkového ionizačního účinku.
- Měříme-li malé aktivity, můžeme registrovat jednotlivé impulsy vzniklé silně ionizujícími pronikajícími částicemi, mluvíme o komůrkách impulsních





# Detekce ionizujícího záření

## ■ Geiger-Müllerovy počítače

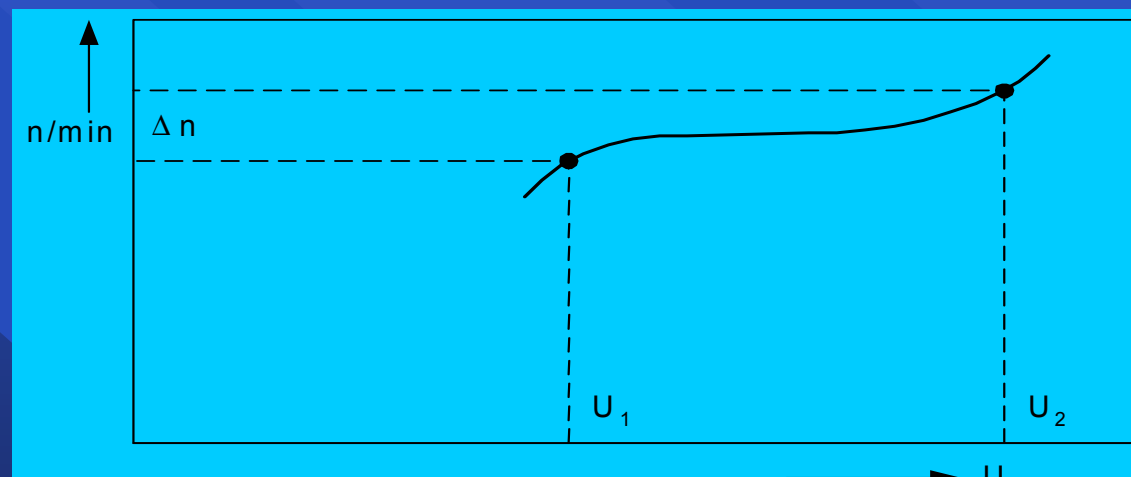
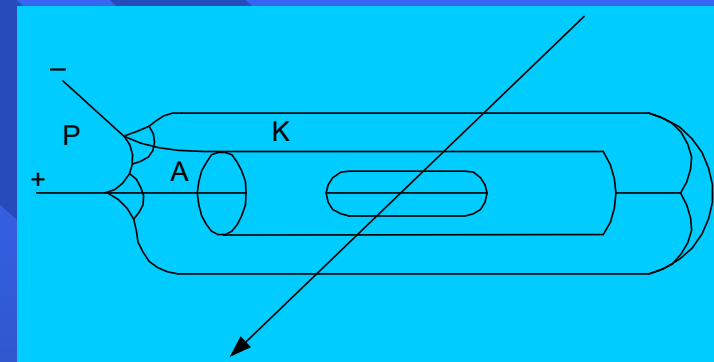
vysoké napětí (řádu  $10^2$ – $10^3$  V)

argon

četnost impulsů (počet impulsů za minutu)

*zhášecí náplň*

10 % polyatomického plynu  
(například etanolových par).





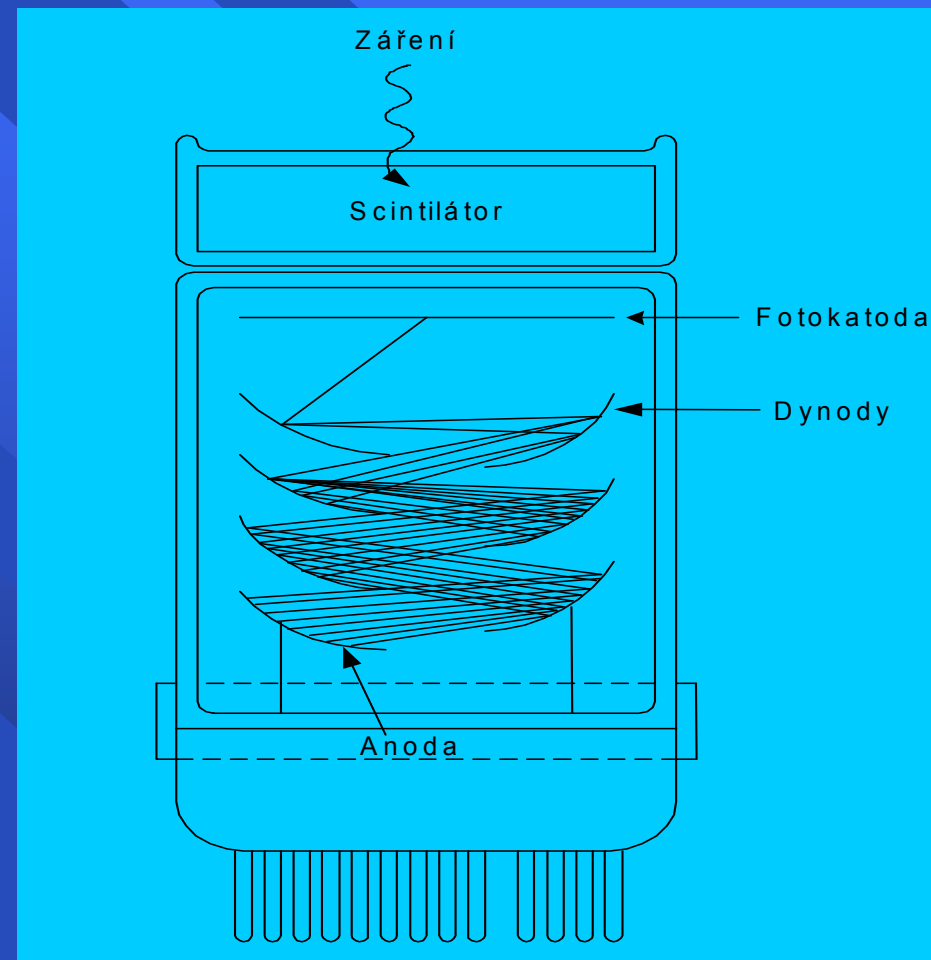


# Detekce ionizujícího záření

## ■ Scintilační počítače

Integrální a selektivní detekce záření  $\gamma$

*Objemová aktivita  $aV = A/V$   
Bq.m<sup>-3</sup>*



# Osobní dozimetrie

- *Filmový dozimetr 3x4 cm*
- *expozice (ozáření) 1 C.kg<sup>-1</sup>*
- *Rozměr- kg<sup>-1</sup>.s.A*
- *1 R (rentgen) = 2,58.10<sup>-4</sup> C.kg<sup>-1</sup>*
- *Expoziční rychlost nebo expoziční příkon dX/dt*
- *Expoziční rychlost nebo expoziční příkon dX/dt*
- *1 gray (Gy) = 1J.kg<sup>-1</sup> absorbovaná dávka*



## RTG záření - druh ionizujícího záření

Fotony rtg záření ionizují prostředí, kterým procházejí.

Vzniklé ionty fyzikálně-chemickými mechanismy indukují biologické účinky.

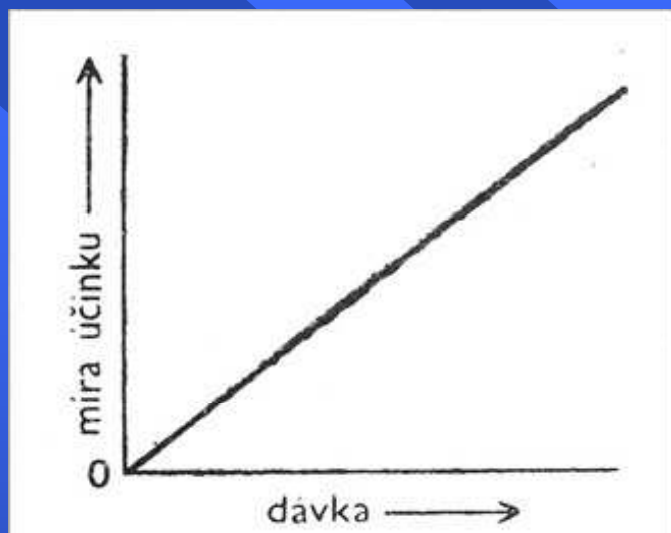
Radiobiologie.

Rozeznáváme dva základní druhy biologických účinků:

- **Účinky stochastické** (náhodné) na úrovni buněk
  - zásahová teorie –
- **Účinky deterministické** (nestochastické) na úrovni tkání



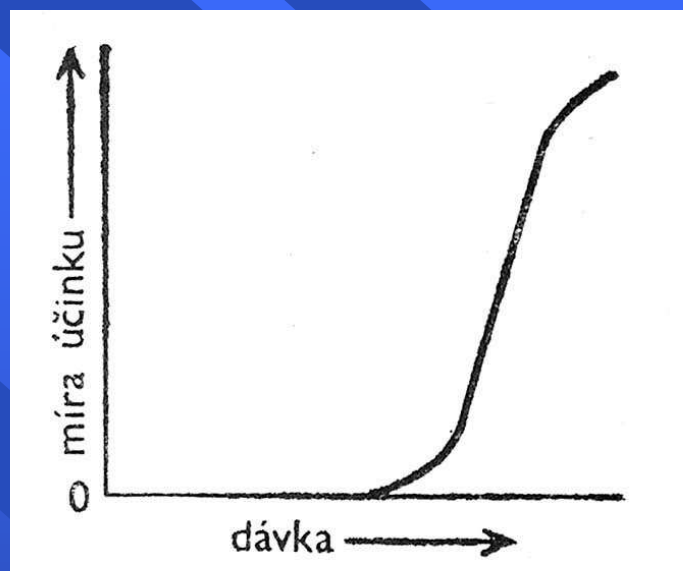
## Účinek stochastický



účinek je bezprahový  
průběh je lineární

- genetické účinky
- karcinogeneze

## Účinek deterministický



účinek má práh  
průběh je nelineární

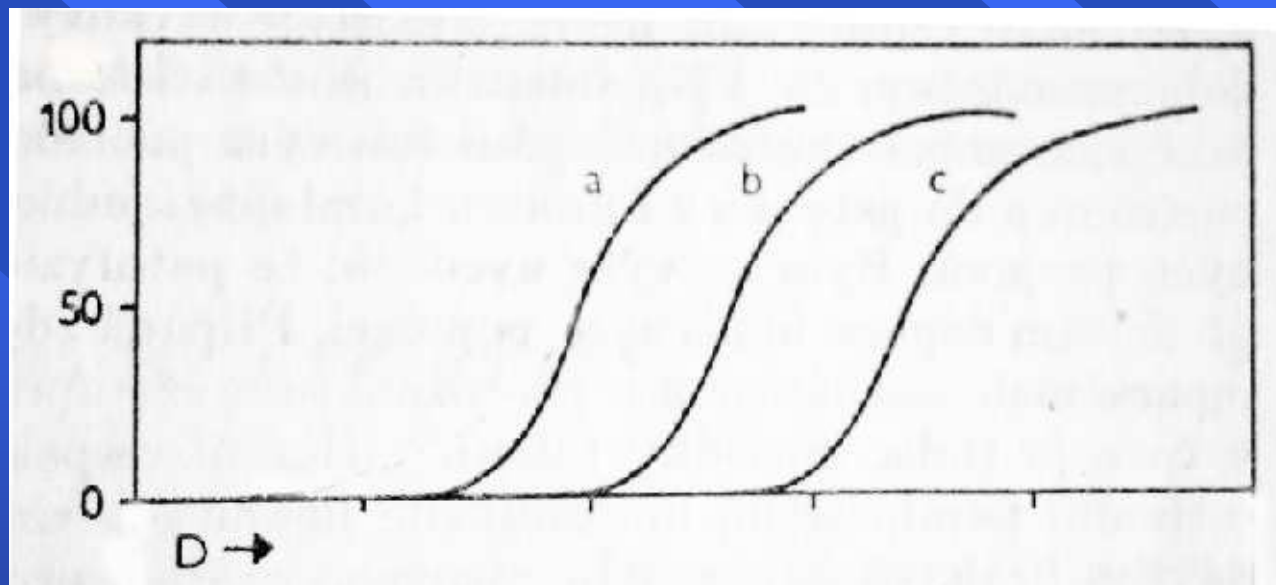
- poškození tkání
- nemoc z ozáření



# Příklad: ozáření kůže ionizujícím zářením

## - gradace deterministických účinků

BÚ



Nejnižší práh : erytemová dávka – zčervenání kůže - a

Vyšší práh : epilační dávka – pigmentace a vypadávání vlasů - b

Nejvyšší práh : nekrotická dávka – poškození kůže s nekrozou - c



## Nomenklatura dávek

Ve fyzice vyjadřujeme absorbovanou dávku v jednotkách

$$\text{Gray ( Gy )} = \text{J/kg} = 100 \text{ radů}$$

V radiobiologii a ochraně před zářením užíváme efektivní dávku

$$\text{Sievert ( Sv )} = D_{\text{abs}} \cdot \text{QF} = 100 \text{ rem}$$

Pozn.:

Dávkový ekvivalent či efektivní dávka dovoluje srovnávat biologické účinky různých druhů ionizujícího záření. QF (quality factor) je pro rtg a gamma záření roven 1. Proto u rtg záření se  $1 \text{ Gy} = 1 \text{ Sv}$ .



## Příklady efektivních dávek při běžných rtg vyšetřeních

Vyšetření (zdroj)	Efektivní dávka
Přírodní pozadí	průměrně 2,2 mSv/rok*
Snímky končetin a kloubů (mimo kyčelních)	< 0,01 mSv
Snímek hrudníku (zadopřední projekce)	0,02 mSv
Snímek lebky	0,07 mSv
Snímek břicha	1 mSv
Snímek bederní páteře (2 projekce)	2,4 mSv
Vylučovací urografie	2,5 mSv
Kontrastní vyšetření žaludku nebo tlustého střeva	3–7 mSv
CT hlavy	2,3 mSv
CT hrudníku nebo břicha	8–10 mSv
Skioskopie	1–10 mSv/minutu
Scintigrafie skeletu	4 mSv



