

# 11. JAK SE ZTRÁCÍ ENERGIE ZÁŘENÍ PŘI PRŮCHODU HMOTOU?

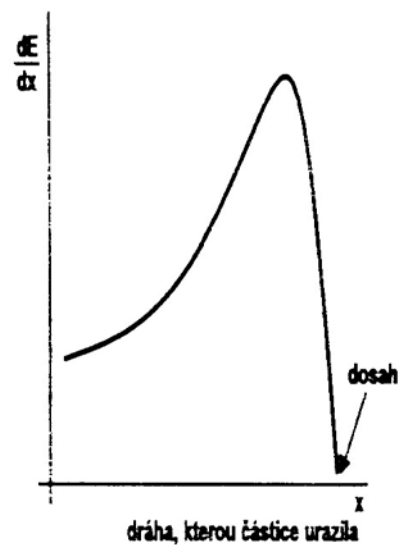
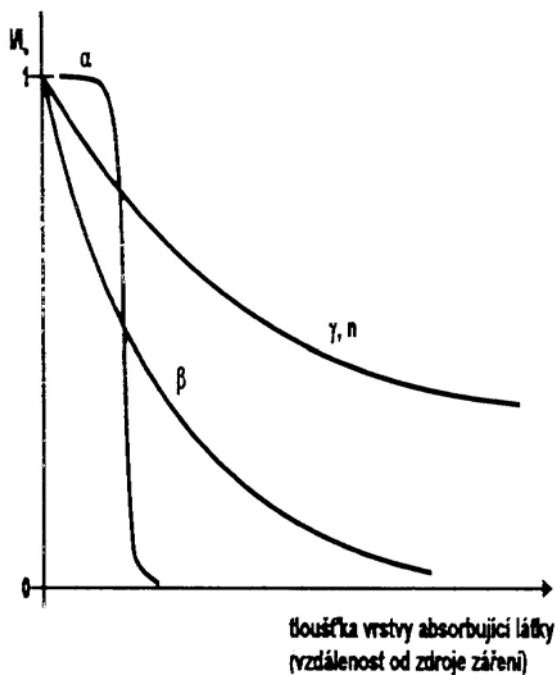
Pro lineární přenos energie platí:

$$L = \frac{dE}{dx} \div \frac{Z^2 n}{v}$$

Z ... nábojové číslo částice

n ... (hustota elektronů absorbujícího prostředí) počet elektronů v objemové jednotce

v ... rychlost částic



## $\alpha$ -částice

**Dosah  $\alpha$ -částic ve vzduchu** (je max. 10 cm )

$$R = 0,0033 E^{3/2}$$

(R vzdálenost v m, E v MeV)

## Počet párů iontů na celé dráze $\alpha$ -částice ve vzduchu

$$6,25 \cdot 10^4 R^{2/3}$$

R je v cm

- hustota elektronů v kapalinách a tuhých látkách je cca 1000x větší než v plynech
- lineární přenos energie je proto cca  $10^3$ x větší
- dosah záření je o tři řády kratší (pro  $\alpha$ -záření jsou to desítky  $\mu\text{m}$ )

## $\beta$ -částice (rychlé elektrony se spojitým spektrem energií)

- přenos energie je menší jako u  $\alpha$ -částic
- příčinou je menší náboj elektronu a jeho větší rychlost při stejné energii ( $v = \sqrt{2E/m}$ )
- $\Rightarrow$  větší pronikavost (tedy i dosah) v absorbujícím prostředí

Dosah (v mm)  $\beta$  záření čtyř radioaktivních nuklidů v různých materiálech.

nuklid	$E_{max}$ (MeV)	vzduch	voda	hliník
$^3\text{H}$	0,018	5,2	0,008	0,0026
$^{35}\text{S}$	0,167	101	0,158	0,119
$^{131}\text{I}$	0,81	2310	3,63	1,15
$^{32}\text{P}$	1,71	5860	9,18	2,91

## Absorpční křivka pro $\beta$ - záření

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

$d$ - tloušťka vrstvy (m)

$\mu$ - lineární absorpční koeficient ( $m^{-1}$ ) – závisí na hustotě elektronů absorbujícího prostředí a energii  $\beta$ -záření

## Brzdné záření

- vzniká při průchodu  $\beta$ -záření látkou
- pohybuje-li se  $\beta$ -částice v blízkosti jádra, je elektrickým polem jádra urychlena a vyzařuje přitom elektromagnetické záření z oblasti spojitého rtg. záření (**brzdné záření**)

$$\lambda = 0,1 - 0,4 \text{ nm}$$

$$\text{tj. } 60 - 250 \text{ keV}$$

$$\frac{dE}{dx} \sim Z^2 E_\beta (\ln 2E_\beta)$$

⇒ brzdné záření vzniká v prostředích v látkách s vysokým  $Z$  a při velkých energiích  $\beta$  - záření

## Čerenkovovo záření

- modrofialové světelné záření
- vzniká při průchodu  $\beta$ -záření průhledným prostředím (voda, sklo)
- vzniká tehdy, je-li rychlost  $\beta$ -částic v prostředí větší než rychlost světla v této látce

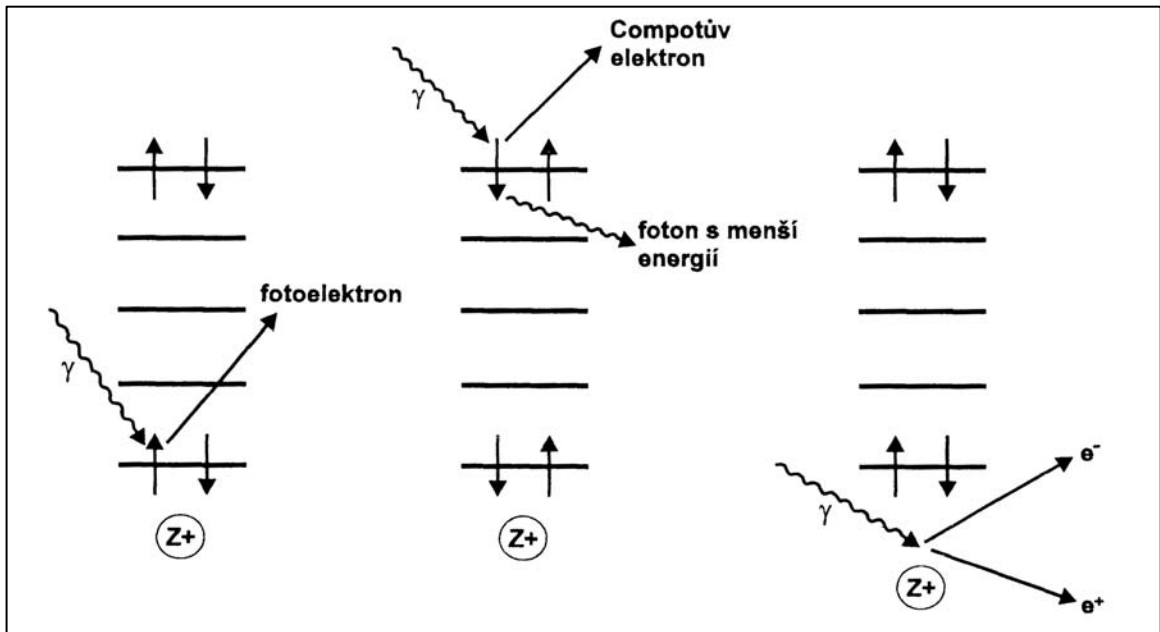
$$v_{\beta} > c/n$$

n – index lomu prostředí

- $\beta$ -záření vytváří při průchodu rázovou elektromagnetickou vlnu, která se projeví jako světelný záblesk
- ve vodě vzniká Čerenkovovo záření pro  $E_{\beta} > 0,26 \text{ MeV}$

## Interakce $\gamma$ -záření s hmotou

- $\gamma$ -záření neinteraguje s hmotou jako hmotné částice nesoucí náboj
- k ionizaci dochází nepřímo účinkem sekundárních elektronů, které v látce vznikají třemi ději



fotoefekt

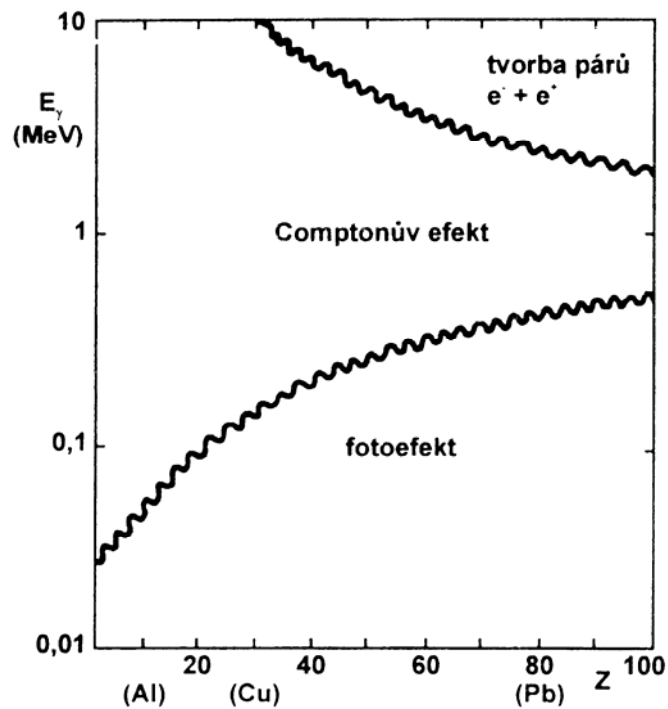
Comptonův rozptyl

tvorba párů

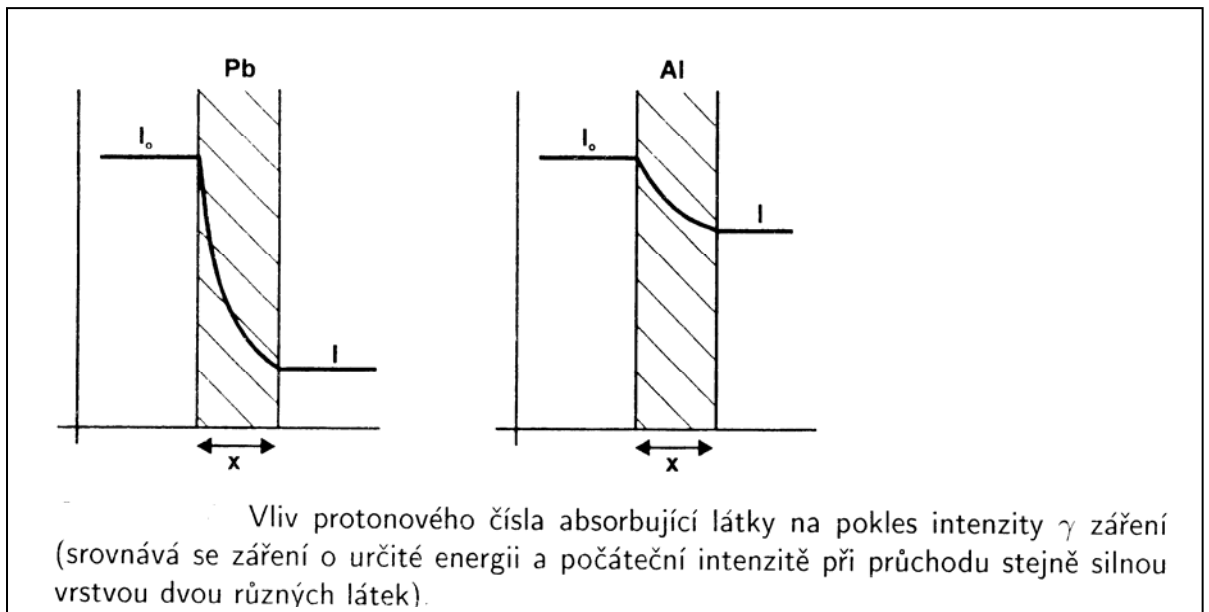
$E_\gamma \sim 0,1 \text{ MeV}$

$0,1 - 2 \text{ MeV}$

$> 1,02 \text{ MeV}$



- sekundární elektrony způsobují ionizaci a excitaci podobně jako u  $\beta$ -záření
- $\gamma$ -záření má vlekou pronikavost  $\Rightarrow$  sekundární elektrony jsou řidčeji rozloženy kolem dráhy částice
- lineární přenos energie je malý a dosah záření velmi velký (často se nedá určit)
- zeslabení svazku  $\gamma$ -záření se řídí stejným vztahem



Lineární absorpční koeficient ( $m^{-1}$ )  $\gamma$  záření.

látka	1 MeV	3 MeV
lidská tkáň	7,0	3,9
cihly	12,9	7,4
beton	15,4	8,8
ocel	46	28
olovo	80	47
běžné sklo	14	8
olovnaté sklo	44	26

- protože často nelze určit dosah  $\gamma$ -záření, vyjadřuje se pronikavost tohoto záření pomocí tzv. **polotloušťky**, tedy jako tloušťka vrstvy látky, která zeslabí intenzitu záření na polovinu

$$I = I_0 / 2 \dots d_{1/2} = \ln 2 / \mu$$

Polotloušťky (cm) pro absorpci  $\gamma$  záření v některých látkách.

$E_\gamma$ (MeV)	voda	beton	olovo
0,1	42	17	0,15
0,5	72	34	4
1,0	98	46	9,3
5,0	230	110	15

## Absorpce neutronů

- neutrony ztrácejí při průchodu látkou svou energii srážkami s atomovými jádry

$$\Delta E = E \frac{4mM}{(m + M)^2}$$

$\Delta E$	úbytek energie neutronu při jedné srážce
$m$	hmotnost neutronu
$M$	hmotnost jádra

⇒ **nejúčinněji se neutrony zpomalují při srážkách s lehkými jádry**

- neutrony ztrácejí srážkami postupně svou energii
- klesne-li jejich energie pod  $\sim 10^{-2}$  eV, pak zanikají jadernou reakcí
- intenzita neutronového svazku má podobný exponenciální průběh jako u  $\gamma$ -záření
- dosah se rovněž těžko stanovuje, neboť absorpční koeficient závisí na účinném průřezu absorbující látky
- definuje se proto **polotloušťka** jako vrstva, kdy se tok neutronů zeslabí na polovinu
- ionizační a excitační účinky neutronového záření jsou nepřímé
- jsou způsobeny částicemi, které vznikají jadernou reakcí při zachytu zpomalených neutronů
- např. obsahuje-li látka bor

$^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  , pak ionty Li i  $\alpha$ -částice mají značnou energii a ionizační schopnost

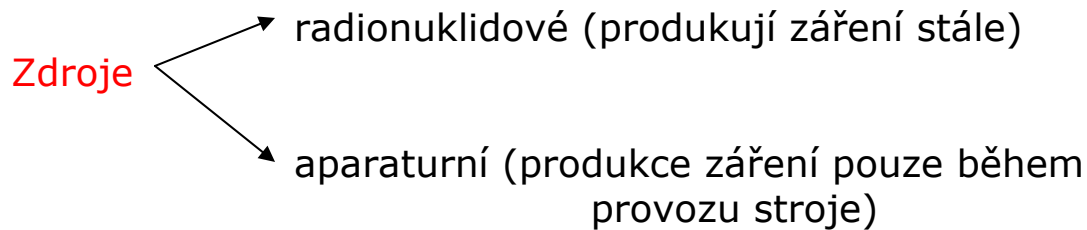


- velký význam má absorpce neutronů v prostředí, které obsahuje vodu (živé organismy, moderátor v jaderném reaktoru)
- při srážce neutronu s jádrem vodíku se  $\Delta E = E \Rightarrow$  veškerá energie se při jediné srážce přenesse celá na proton, který získá značnou energii a opouští své místo (velké nebezpečí pro živé organismy).

## Zdroje ionizujícího záření

Využívají se pro :

- laboratorní účely
- terénní aplikace
- průmyslové aplikace



## Záření elektronové

- je produkováno nuklidy, které je emitují:



- urychlovače elektronů (betatron, lineární urychlovač)

## Záření elektromagnetické

- $\gamma$ -záření:  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{109}\text{Cd}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Co}$ ,  $^{192}\text{Ir}$

- zdroje rtg záření:
  - rentgenové lampy,
  - radioaktivní nuklidy produkující charakteristické rtg záření ( $^{109}\text{Cd}$ )
  - radioaktivní nuklidy generující brzdové záření při absorpci  $\beta$ -záření
  - urychlovače elektronů

## **Záření pozitronové**

radioaktivní nuklidy produkující pozitrony:  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{68}\text{Ge}$

## **Zdroje těžkých kladných částic**

radionuklidové zdroje  $\alpha$ -záření:  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$

urychlovače: cyklotron, lineární urychlovač

## **Neutronové zdroje**

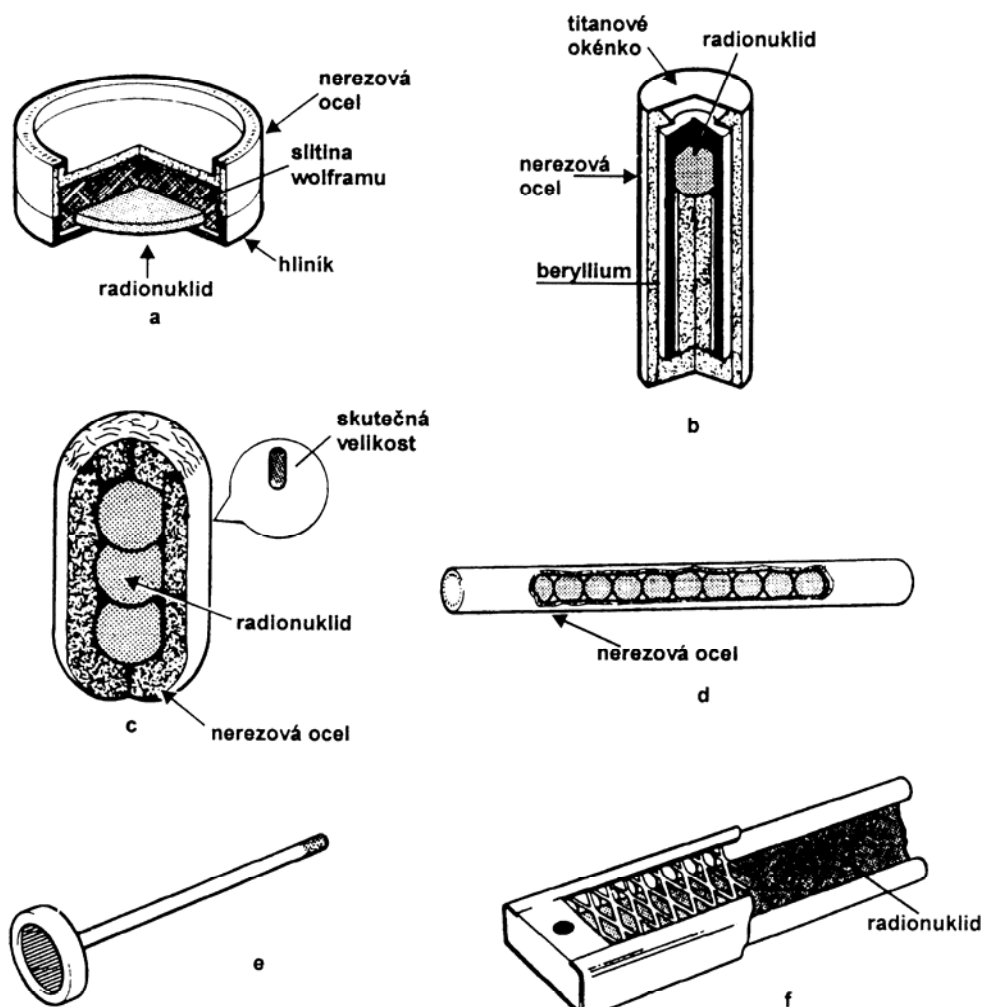
radionuklidové zdroje : ( $\alpha$ ,n) a samovolné štěpení

neutronový generátor

jaderný reaktor

## Konstrukce zdrojů

- **radionuklidové zdroje** (nutno zaručit těsnost - uzavřený radionuklidový zářič **URZ**)



Provedení některých typů radionuklidových zdrojů ionizujícího záření (bližší popis v textu). Převzato z [6].