

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

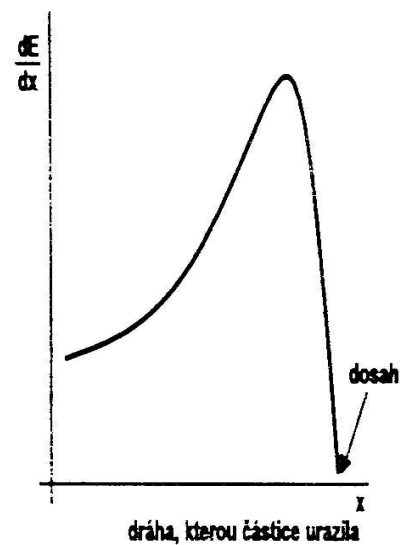
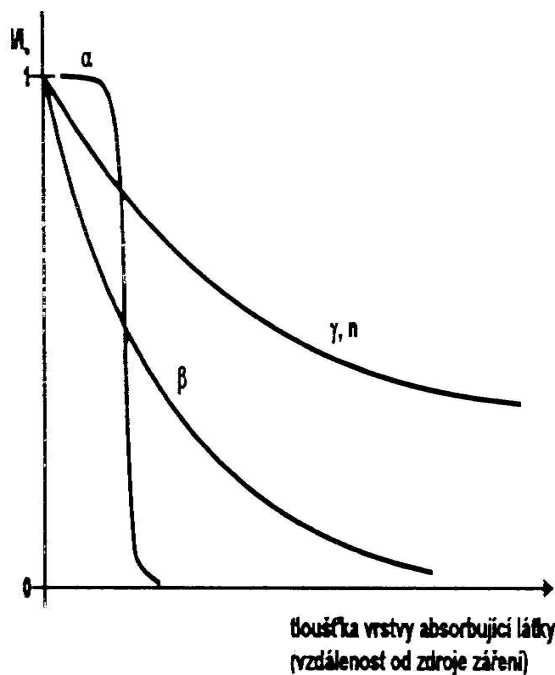
Pro lineární přenos energie platí:

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

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 urychleno 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

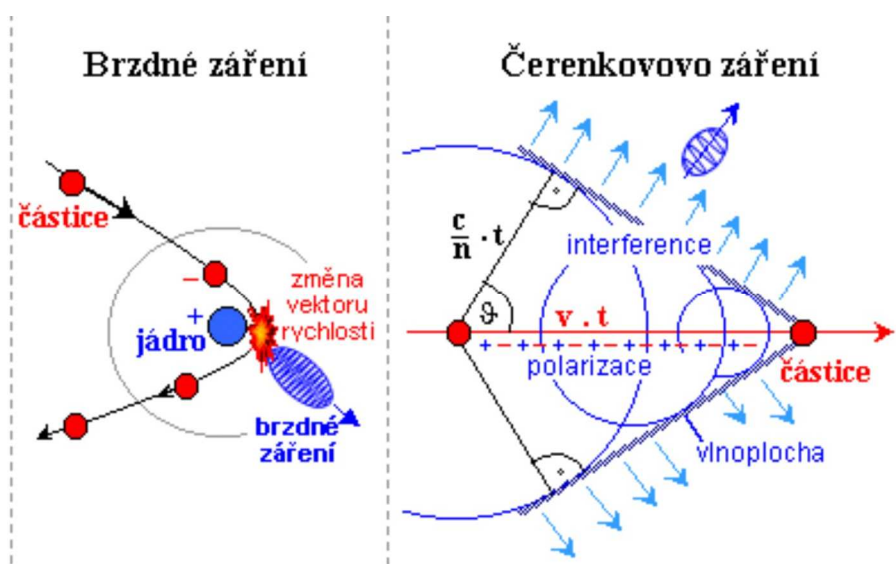
- modrofialové světelné záření
- vzniká při průchodu  $\beta$ -záření průhledným prostředím (voda, sklo)

- 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 projevuje jako světelný záblesk
- ve vodě vzniká Čerenkovovo záření pro  $E_{\beta} > 0,26$  MeV



# Interakce $\gamma$ -záření s hmotou

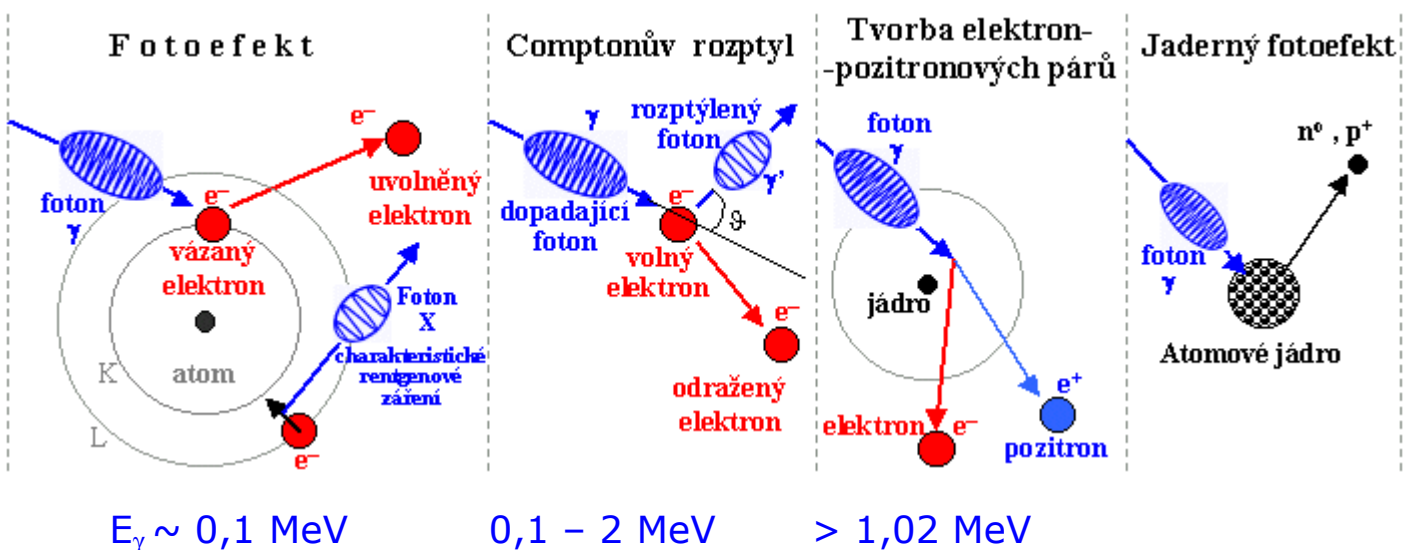
## Neionizující procesy

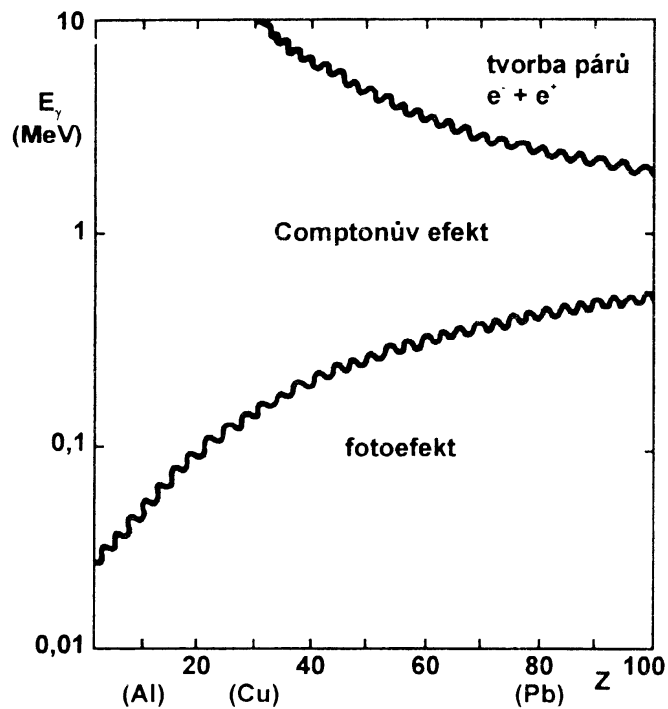
**Bez interakce** - kvantum záření může volně proletět mezi atomy látky. K tomu často dochází zvláště u tvrdého záření při průchodu lehkými materiály

- **Rayleighův koherentní rozptyl** záření na elektronech vázaných v atomovém obalu, při němž se přenáší pouze hybnost, nikoli energie (lehký foton se odráží od celého atomu, jehož hmotnost je mnohonásobně větší)
- **Thomsonův rozptyl** na volných elektronech
- **Excitace elektronů** na vnějších slupkách atomů, načež se při deexcitaci vyzařuje viditelné nebo infračervené záření

## Ionizující procesy

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

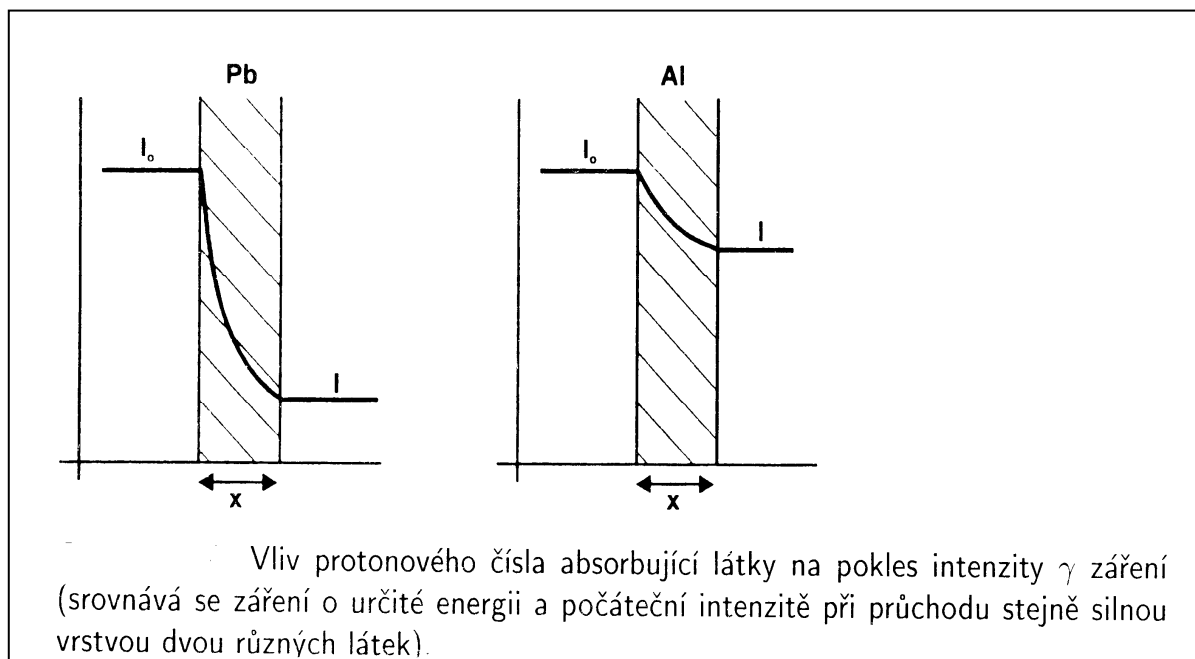




- sekundární elektrony způsobují ionizaci a excitaci podobně jako u  $\beta$ -záření
- $\gamma$ -záření má velkou pronikavost  $\Rightarrow$  sekundární elektrony jsou řidčeji rozloženy kolem dráhy částice
- lineární přenos energie je malý a dosah záření velmi velký (často se nedá určit)
- zeslabení 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 |
|--------------|------------------|------|-------|-------|
| <b>Další</b> | 0,1              | 42   | 17    | 0,15  |
|              | 0,5              | 72   | 34    | 4     |
|              | 1,0              | 98   | 46    | 9,3   |
|              | 5,0              | 230  | 110   | 15    |

**možnou interakcí gama záření s hmotou je:**

**jaderná rezonanční fluorescence – Mössbauerův jev**



## Absorpce neutronů

- **volné neutrony se spontánně rozpadají radioaktivitou  $\beta^-$**  s poločasem asi 12 minut na protony, elektrony a (anti)neutrino.
- Ionizaci prostředí způsobují až **sekundární částice**, jež vznikají při interakci neutronů s jádry atomů (odražená lehká jádra, záření  $\beta$ , protony, částice alfa apod.).
- Neutrony po vstupu do látky reagují téměř výhradně s atomovými jádry, a to čtyřmi způsoby:

**Pružný rozptyl** - 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** .....při srážce neutronu s jádrem vodíku se  $\Delta E = E$  ⇒ veškerá energie se při jediné srážce přenesla celá na proton, který získá značnou energii a opouští své místo (velké nebezpečí pro živé organismy).

**Nepružný rozptyl** - neutron opět předá část své energie jádru, avšak tato energie se spíše než na mechanický pohyb jádra spotřebuje na zvýšení vnitřní energie jádra - nastane **excitace jádra**.

Při návratu jádra do původního stavu (deexcitaci vzbuzených jaderných hladin) se vyzáří foton záření gama, který již vyvolává ionizaci mechanismy popsány v předchozím odstavci (fotoefekt, Comptonův rozptyl, ...).

**Klesne-li energie po srážkách pod  $\sim 10^{-2} \text{eV}$ , pak zanikají jadernou reakcí  $(n, \gamma)$  - **radiační záchyt****

Záření gama pak již vyvolává ionizaci.

Další ionizace pak může nastat i následně a dlouhodobě: jádra, jež pohltila neutron, jsou často **radioaktivní** a rozpadají se za vyzáření dalšího ionizujícího záření, především beta.

**K látkám, které nejúčinněji zachycují neutrony, patří zvláště bor a kadmium**, které se proto používají jako stínící materiál pro neutronové záření a pro regulaci neutronového toku v jaderných reaktorech.

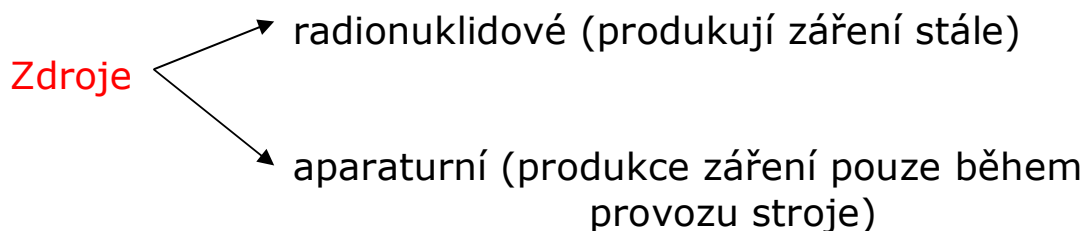
**Jaderné reakce**, kdy po vniknutí neutronu do jádra je emitována jiná částice, např. proton nebo částice alfa, které ionizují.

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

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

- zdroje rtg záření:
  - rentgenové lampy,
  - radioaktivní nuklidy produkující charakteristické rtg záření,  $^{109}\text{Cd}$
  - radioaktivní nuklidy generující brzdné 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

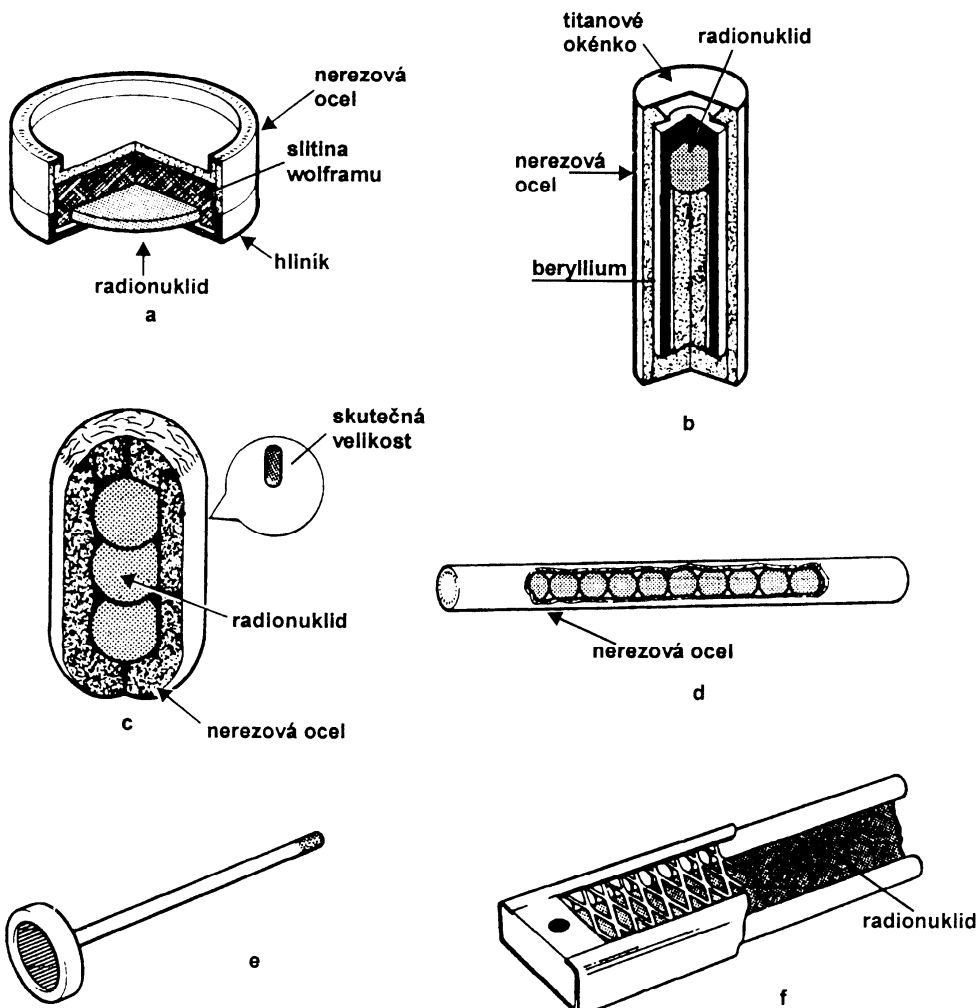
radionuklidové zdroje : ( $\alpha, n$ ) a samovolné štěpení

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].