

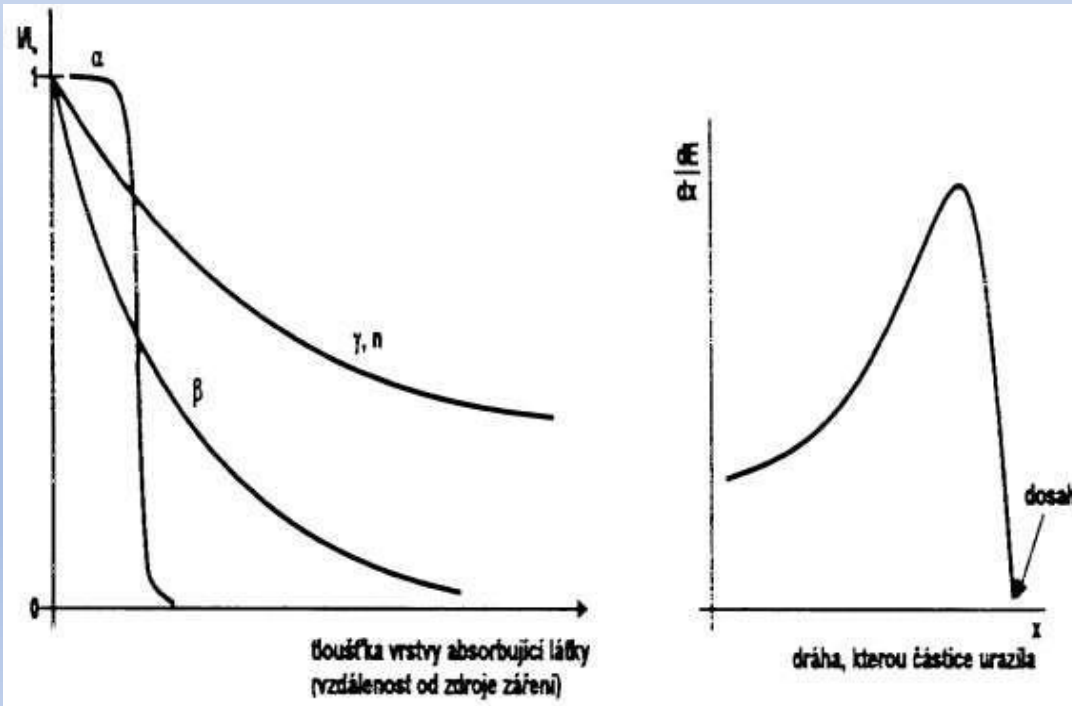
# 11. Jak se ztrácí energie záření při průchodu hmotou?

**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

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

(R vzdálenost v m, E v MeV) Dosah  $\alpha$ -částic ve vzduchu (je max. 10 cm.)

## 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

### 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

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

# Brzdné záření

**Brzdné záření** je elektromagnetické záření a vzniká v látkách s vysokým  $Z$  a při velkých energiích  $\beta^-$  záření

**Brzdné záření**, vznikající při zpomalování pohybující se nabitě částice, když je vychýlena jinou nabitou částicí; typicky jde o vychýlení elektronu atomovým jádrem. Pohybující se částice ztrácí kinetickou energii a ta je přeměněna na záření (tzn. foton), čímž je dodržen zákon o zachování energie.

Brzdné záření má spojité spektrum; jeho energie roste a špičková hodnota se posouvá s růstem energie zpomalujících částic.

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

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

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

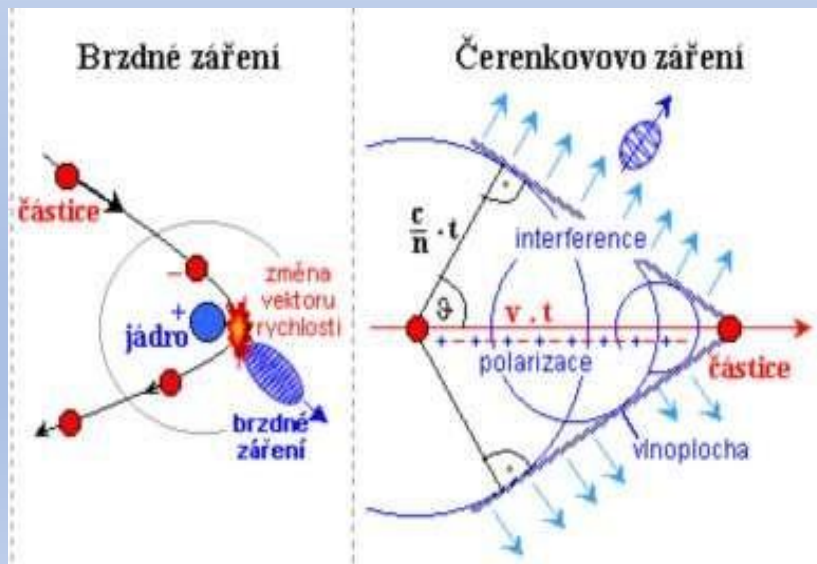
# Čerenkovovo záření

- 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

## Neionizující procesy

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

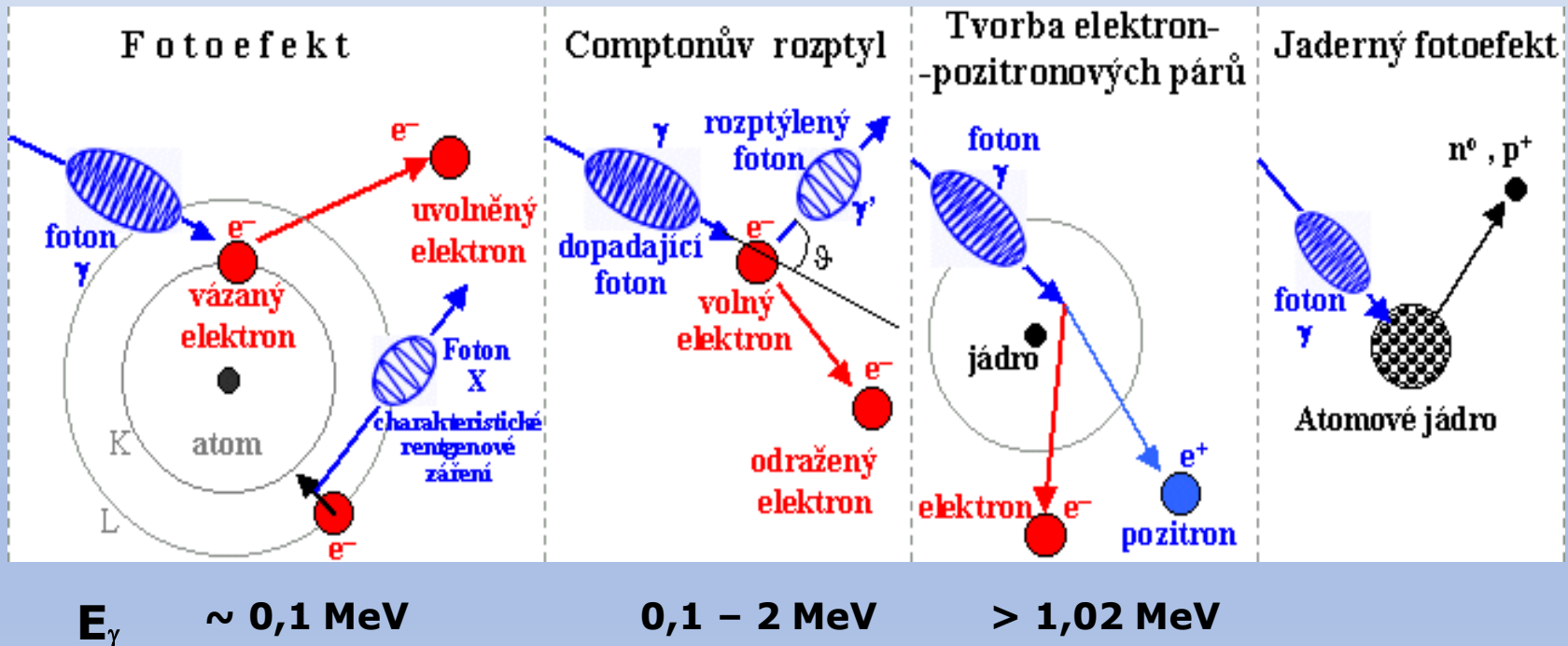
**Rayleighův koherentní rozptyl** záření na elektronech vázaných v atomovém obalu, při němž se přenáší pouze hybnost, nikoli energie (lehký foton se odráží od celého atomu, jehož hmotnost je mnohonásobně větší)

**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 následujícími ději

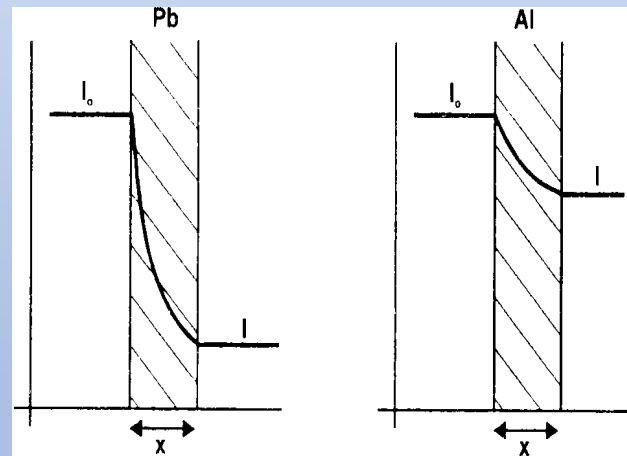


## Průběh ionizace gama zářením

- 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 jako u  $\beta^-$  záření

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



Vliv protonového čísla absorbující látky na pokles intenzity  $\gamma$  záření (srovnává se záření o určité energii a počáteční intenzitě při průchodu stejně silnou vrstvou dvou různých látek).



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

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

**jaderná rezonanční fluorescence – Mössbauerův jev**  
(zde nebude probírán)

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

## Nepružný rozptyl neutronů

- 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 popsanými v předchozím odstavci (fotoefekt, Comptonův rozptyl, ...).

## Radiační záchyt neutronů

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

- 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 stínicí materiál pro neutronové záření a pro regulaci neutronového toku v jaderných reaktorech.

## Jaderné reakce

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

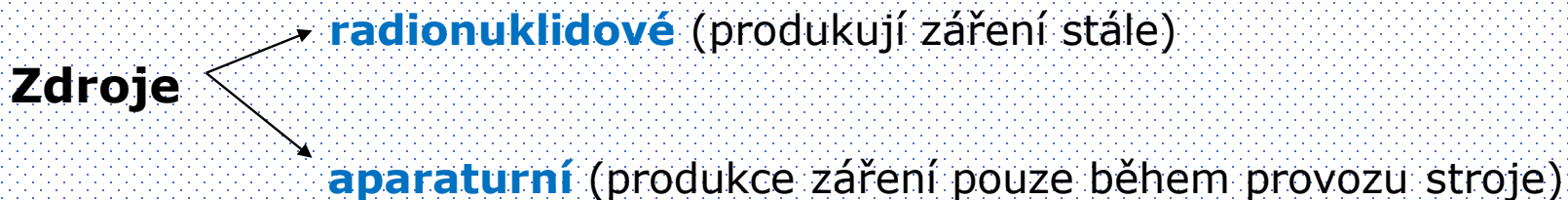


**pak ionty Li i  $\alpha$ -částice mají značnou energii a ionizační schopnost**

# 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

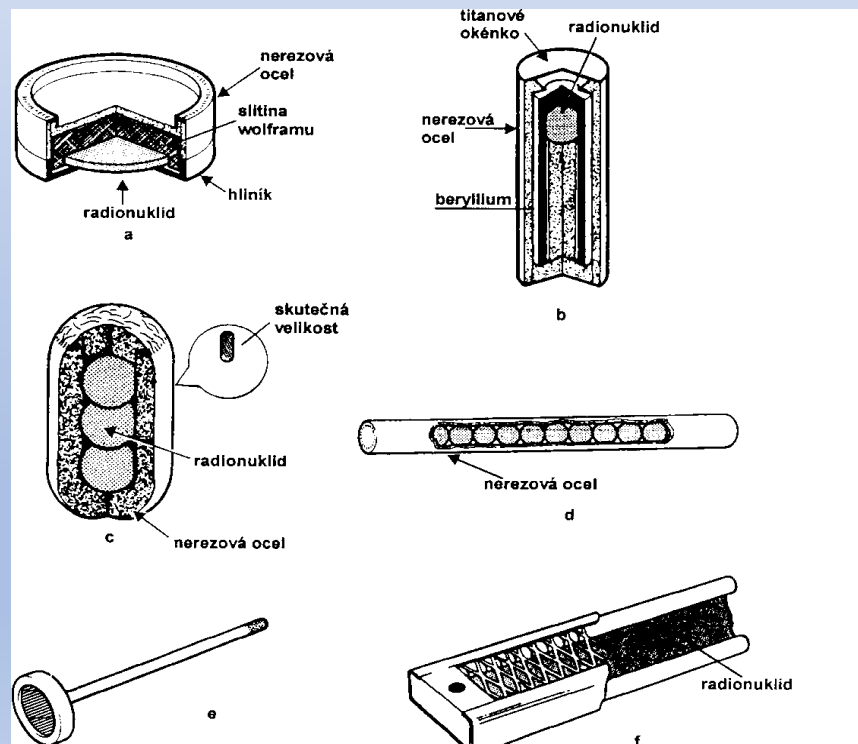
# Neutronové zdroje

- radionuklidové zdroje: ( $\alpha, n$ ) a samovolné štěpení neutronový generátor
- jaderný reaktor

## Konstrukce radionuklidových zdrojů

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

radionuklidové zdroje



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