

11. JAK SE ZTRÁCÍ ENERGIE ZÁŘENÍ PŘI PRŮCHODU HMOTOU?

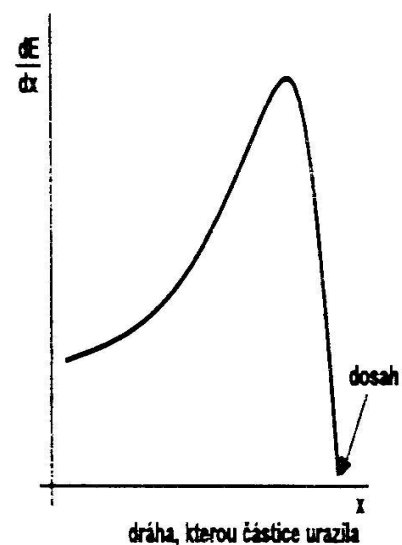
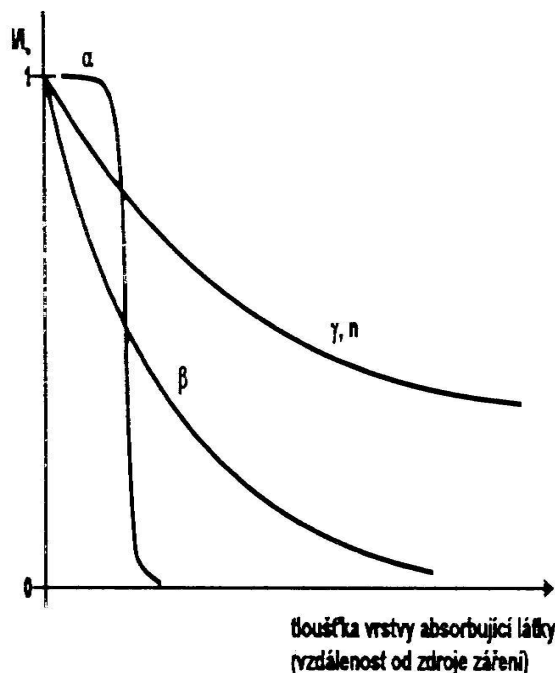
Pro lineární přenos energie platí:

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

Z ... nábojové číslo částice

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

v ... rychlost částic



α -částice

Dosah α -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 α -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 α -záření jsou to desítky μm)

β -částice (rychlé elektrony se spojitým spektrem energií)

- přenos energie je menší jako u α -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) β záření čtyř radioaktivních nuklidů v různých materiálech.

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

Absorpční křivka pro β - záření

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

d - tloušťka vrstvy (m)

μ - lineární absorpční koeficient (m^{-1}) – závisí na hustotě elektronů absorbujícího prostředí a energii β -záření

Brzdné záření

- vzniká při průchodu β -záření látkou
- pohybuje-li se β -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 β - záření**

Čerenkovovo záření

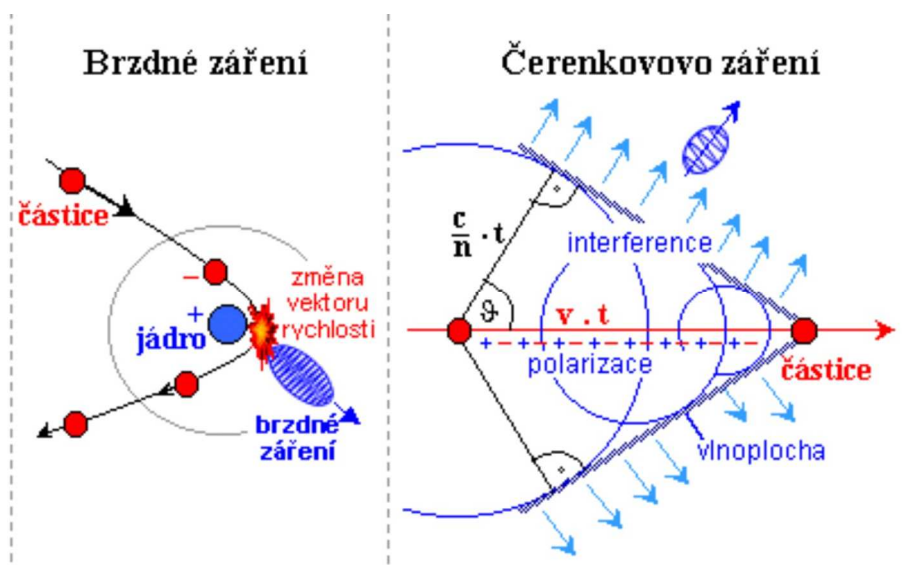
- modrofialové světelné záření
- vzniká při průchodu β -záření průhledným prostředím (voda, sklo)

- vzniká tehdy, je-li rychlost β -částic v prostředí větší než rychlost světla v této látce

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

n – index lomu prostředí

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



Interakce γ -záření s hmotou

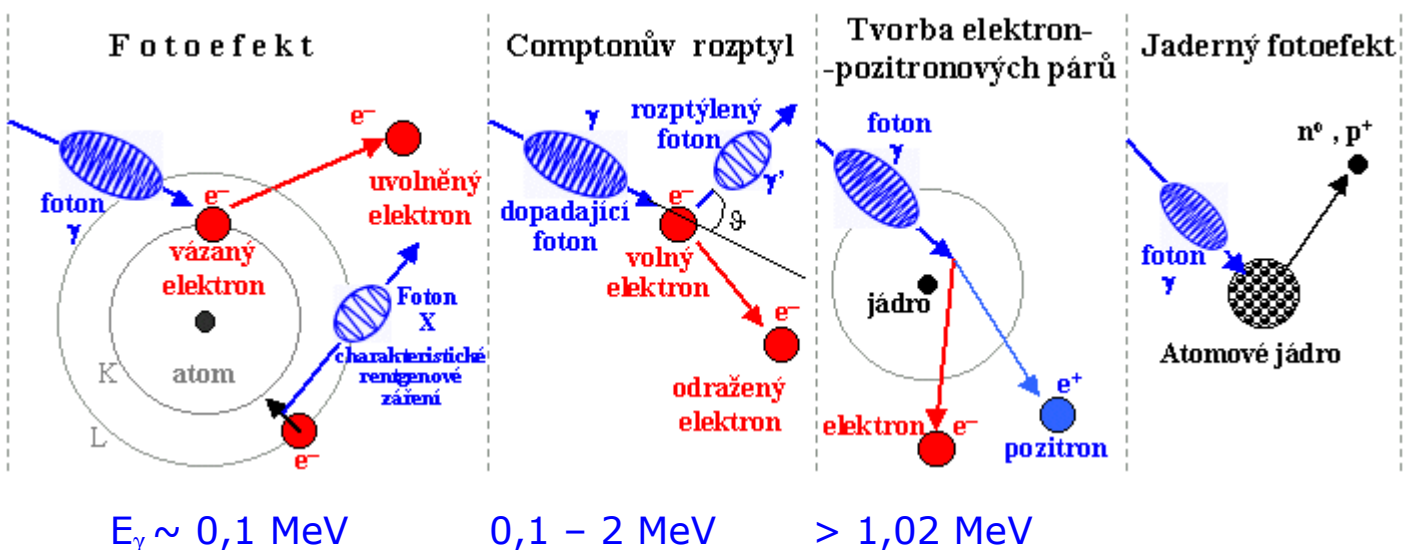
Neionizující procesy

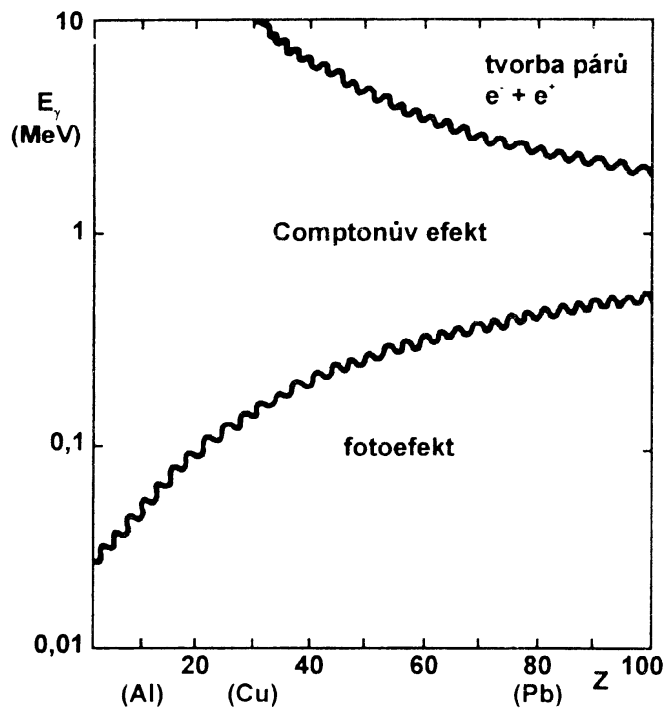
Bez interakce - kvantum záření může volně proletět mezi atomy látky. K tomu často dochází zvláště u tvrdého záření při průchodu lehkými materiály

- **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

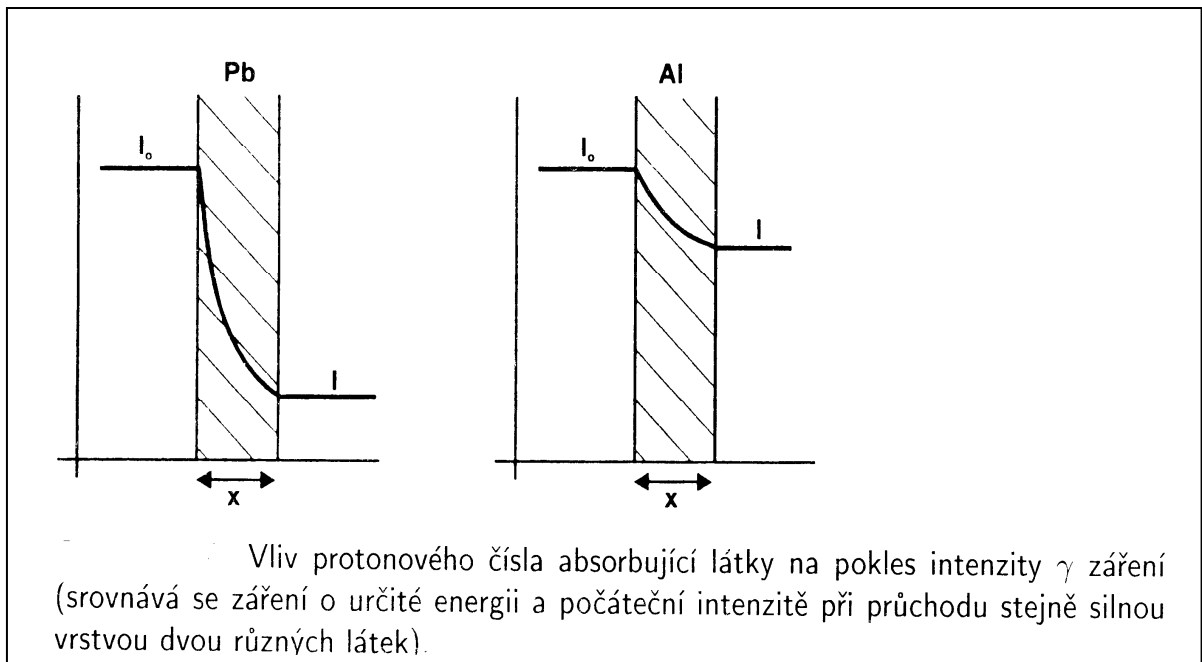
Ionizující procesy

- γ -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 β -záření
- γ -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 γ -záření se řídí stejným vztahem



- protože často nelze určit dosah γ -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 γ záření v některých látkách.

	E_γ (MeV)	voda	beton	olovo
Další	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 β^-** 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 β , 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

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

ΔE 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 $\sim 10^{-2}$ eV, pak zanikají jadernou reakcí (n, γ) - **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.

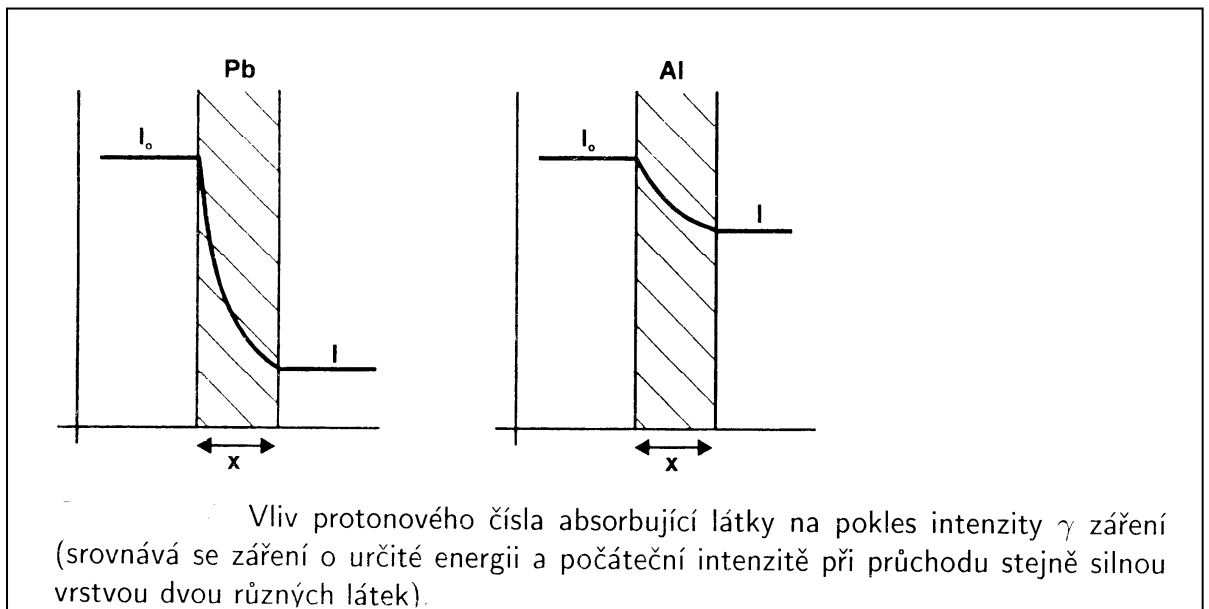
Jaderné reakce, kdy po vniknutí neutronu do jádra je emitována jiná částice, např. proton nebo částice alfa, které ionizují.

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

Interakce γ -záření s hmotou

- γ -záření neinteraguje s hmotou 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 β -záření
- γ -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 γ -záření se řídí stejným vztahem



Lineární absorpční koeficient (m^{-1}) γ 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 γ -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 γ záření v některých látkách.

E_γ (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

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

ΔE	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 γ -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

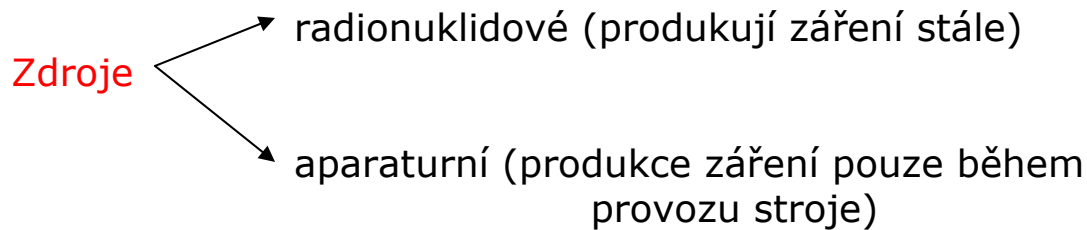
$^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$, pak ionty Li i α -částice mají značnou energii a ionizační schopnost

- 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

- γ -záření: ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{55}Fe , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir

- zdroje rtg záření:
 - rentgenové lampy,
 - radioaktivní nuklidy produkující charakteristické rtg záření (^{109}Cd)
 - radioaktivní nuklidy generující brzdné záření při absorpci β -záření
 - urychlovače elektronů

Záření pozitronové

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

Zdroje těžkých kladných částic

radionuklidové zdroje α -záření: ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{238}Pu , ^{241}Am

urychlovače: cyklotron, lineární urychlovač

Neutronové zdroje

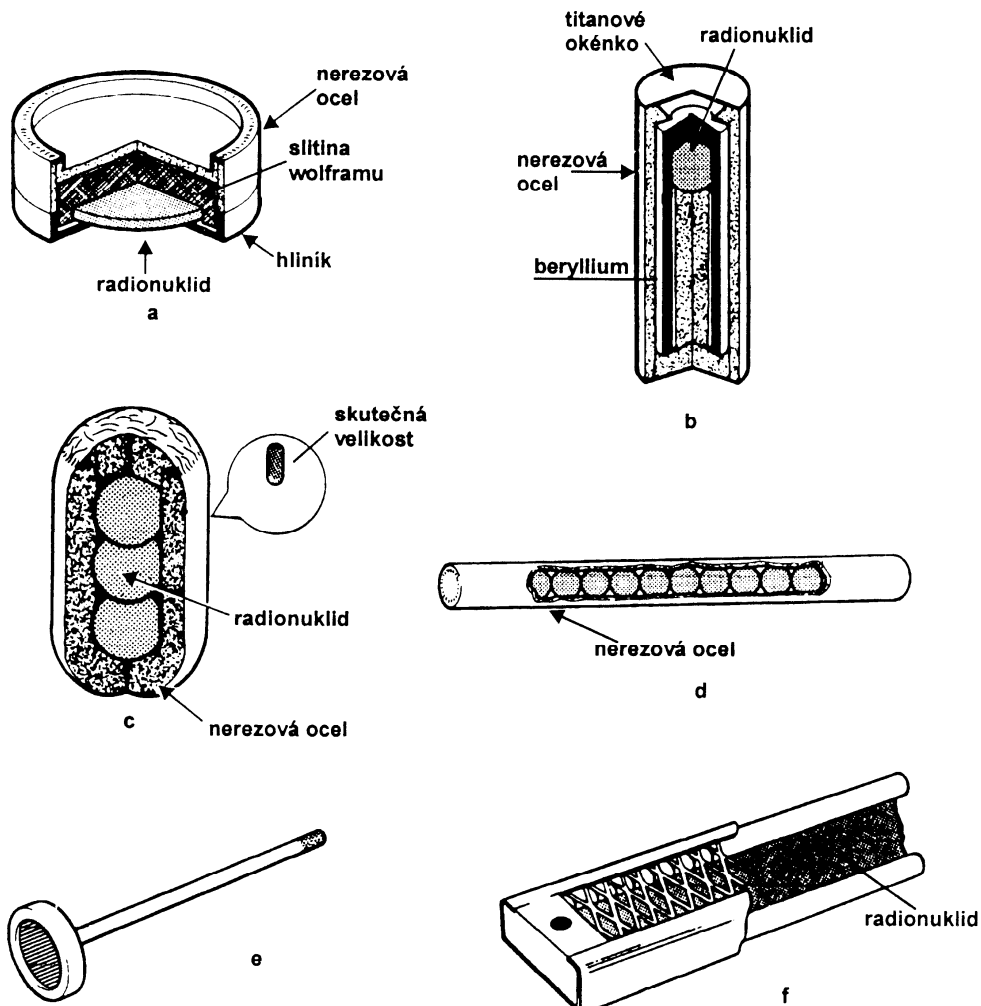
radionuklidové zdroje : (α ,n) a samovolné štěpení

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].