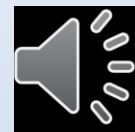


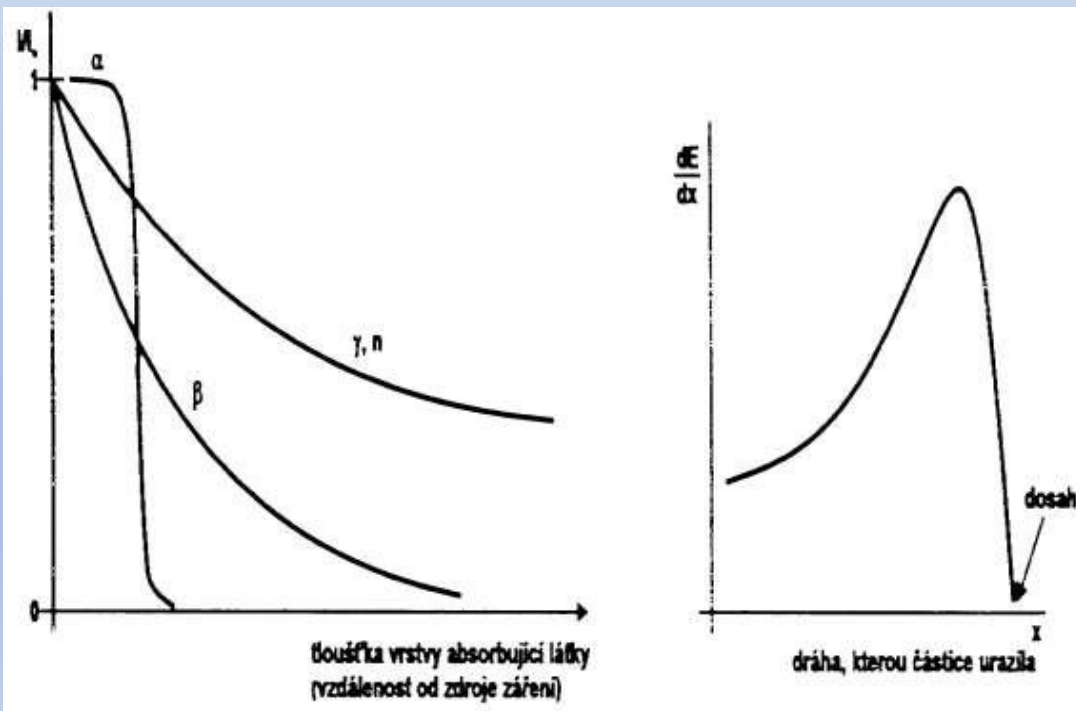
11. Jak se ztrácí energie záření při průchodu hmotou?

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

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

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

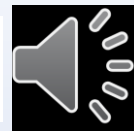
Počet párů iontů na celé dráze α -částice ve vzduchu

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

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 absorbuujícím prostředí

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 absorbuujícího prostředí a energii β -záření

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

Brzdné záření



Brzdné záření je elektromagnetické záření a vzniká v látkách s vysokým Z a při velkých energiích β^- 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 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 $E_{\beta} > 0,26 \text{ MeV}$





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.

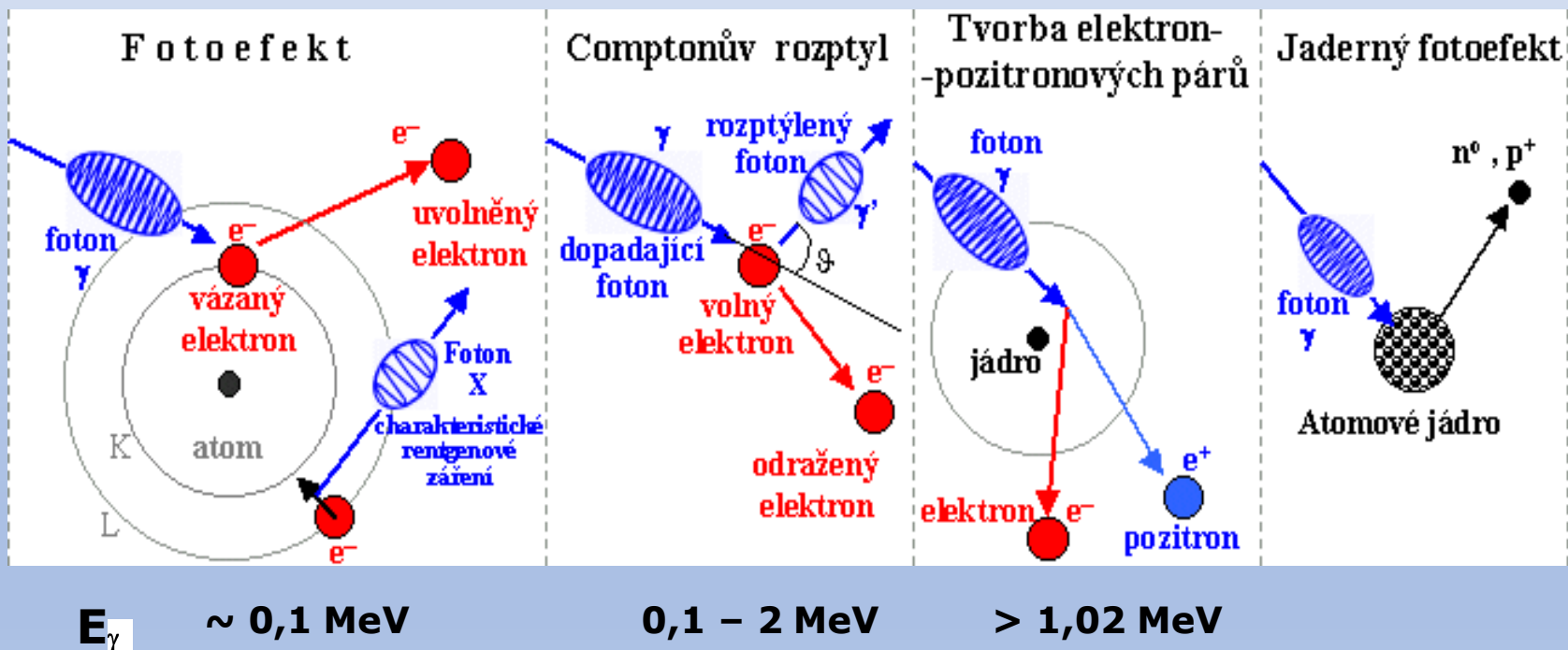
Rayleighův koherentní rozptyl záření na elektronech vázaných v atomovém obalu, při němž se přenáší pouze hybnost, nikoli energie (lehký foton se odráží od celého atomu, jehož hmotnost je mnohonásobně větší)

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 následujícími ději



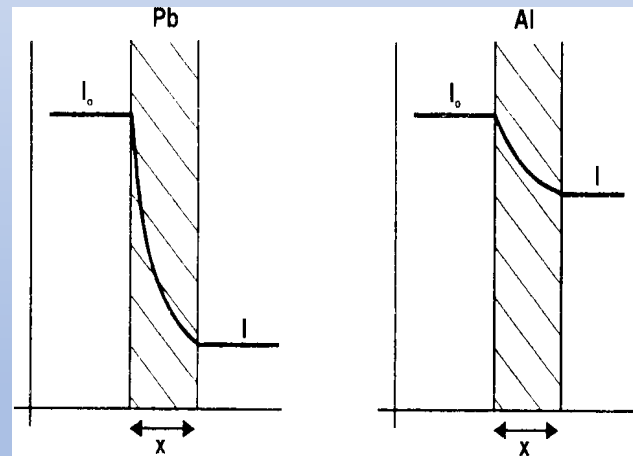
Průběh ionizace gama zářením



- 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 jako u β^- záření

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



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



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

Další možnou interakcí gama záření s hmotou je:

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

Absorpce neutronů

- **Volné neutrony se spontánně rozpadají radioaktivitou β^- s poločasem asi 12 minut na protony, elektrony a (anti)neutrína.**
- 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** tj. při srážce neutronu s jádrem vodíku se $\Delta E = E \Rightarrow$ 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 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 ionizační mechanismy popsanými v předchozím odstavci (fotoefekt, Comptonův rozptyl, ...).

Radiační záchyt neutronů

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

- 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

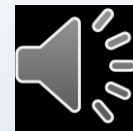
po vniknutí neutronu do jádra je emitována jiná částice, např. proton nebo částice alfa, které ionizují.



pak ionty Li i α -částice mají značnou energii a ionizační schopnost

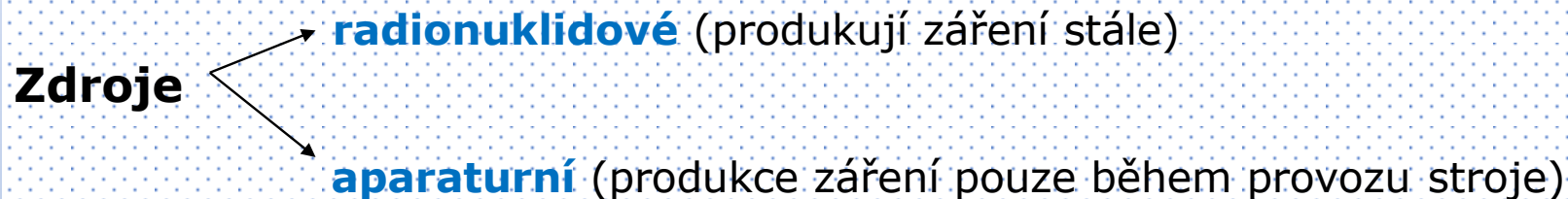


Zdroje ionizujícího záření



Využívají se pro:

- laboratorní účely
- terénní aplikace
- průmyslové aplikace



Záření elektronové

- je produkováno nuklidy, které je emitují:



- urychlovače elektronů (betatron, lineární urychlovač)



Záření elektromagnetické

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

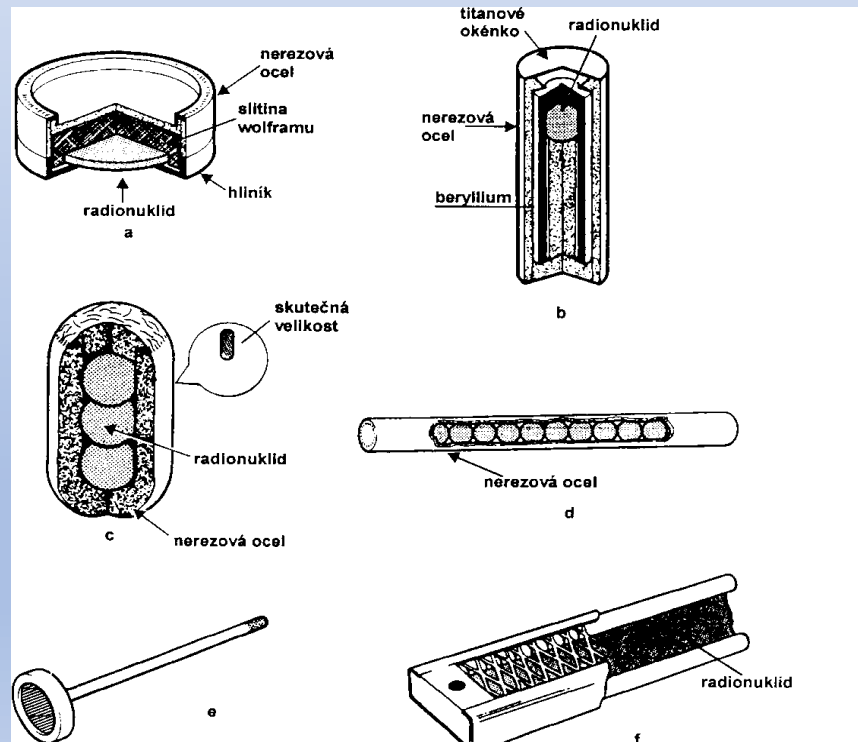


- radionuklidové zdroje: (α, n) a samovolné štěpení neutronový generátor
- jaderný reaktor

Konstrukce 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].