

5. INTERAKCE ZÁŘENÍ S HMOTOU

Záření při průchodu hmotou ztrácí svou energii interakcemi s elektronovým obalem i jádry atomů.

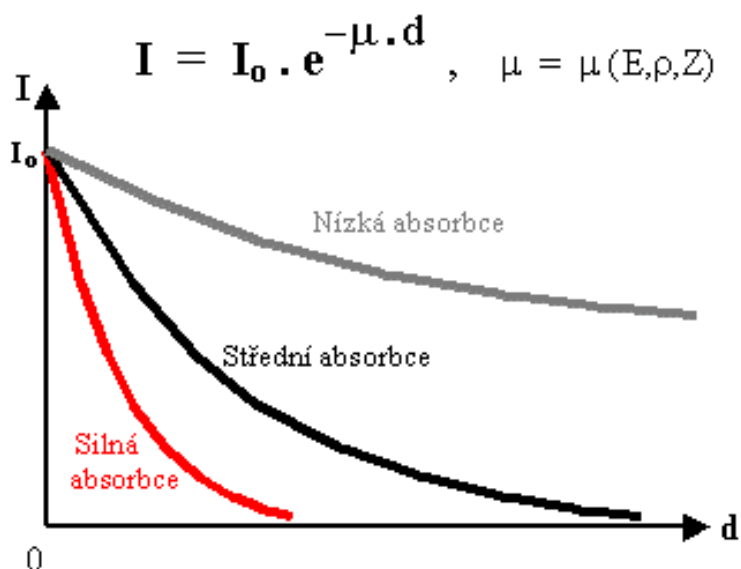
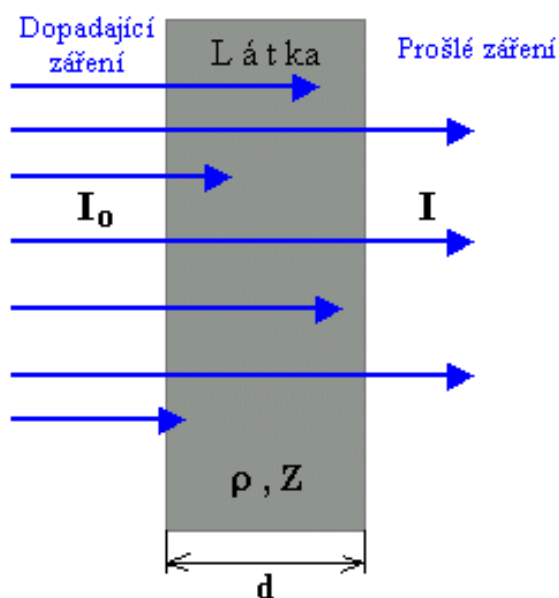
Pro lineární přenos energie platí:

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

Z ... nábojové číslo částice

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

v ... rychlost částic



α -částice

Dosah α -částic ve vzduchu (je kolem 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**

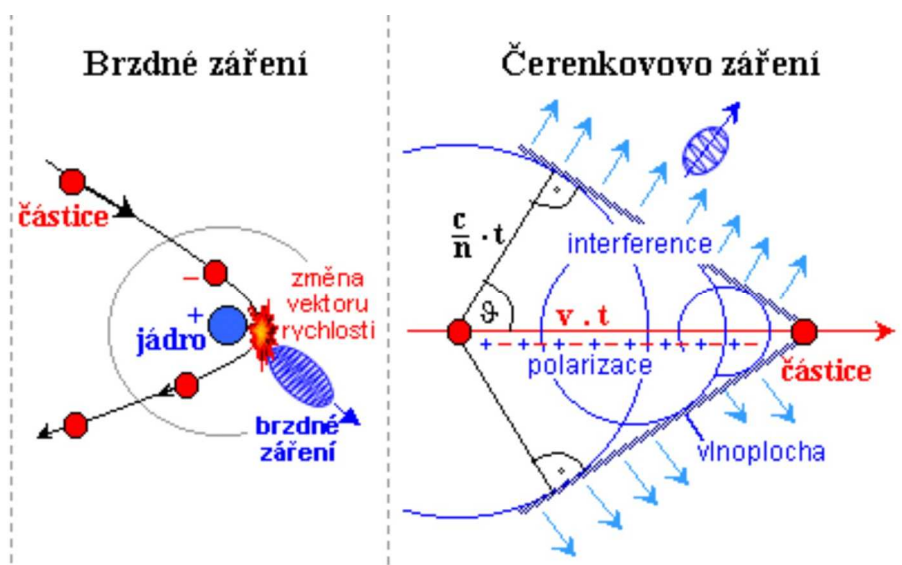
Čerenkovovo záření

- 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

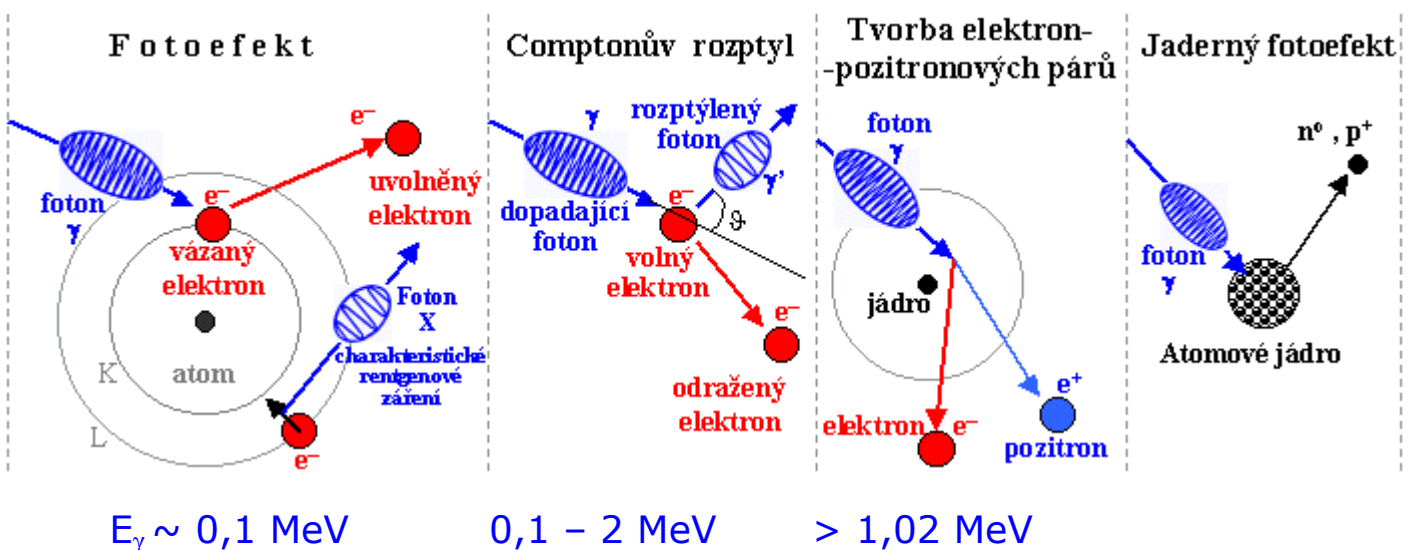
Neionizující procesy

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

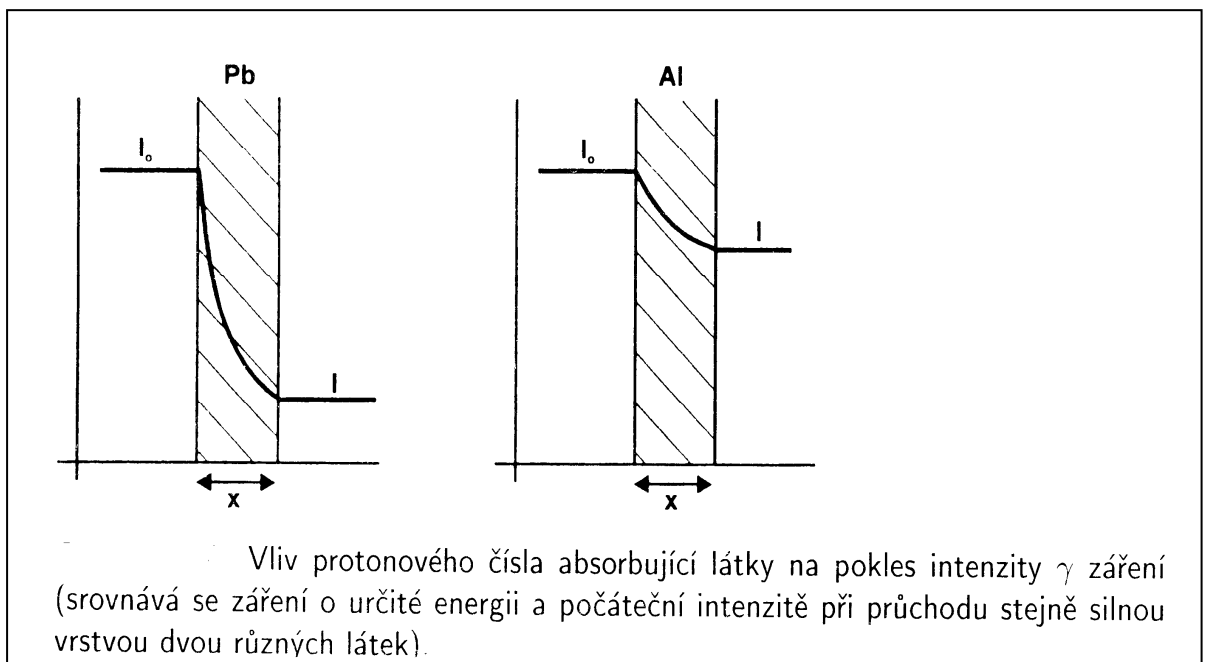
- **Rayleighův koherentní rozptyl** záření na elektronech vázaných v atomovém obalu, při němž se přenáší pouze hybnost, nikoli energie (lehký foton se odráží od celého atomu, jehož hmotnost je mnohonásobně větší)
- **Thomsonův rozptyl** na volných elektronech
- **Excitace elektronů** na vnějších slupkách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

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 $\Delta E = E \Rightarrow$ 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 - 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, 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