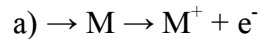


4. Vlastnosti ionizujícího záření

Energie záření (γ , β , α apod.) keV – MeV, ionizační energie atomů a molekul < 25 eV proto **ionizující záření**.

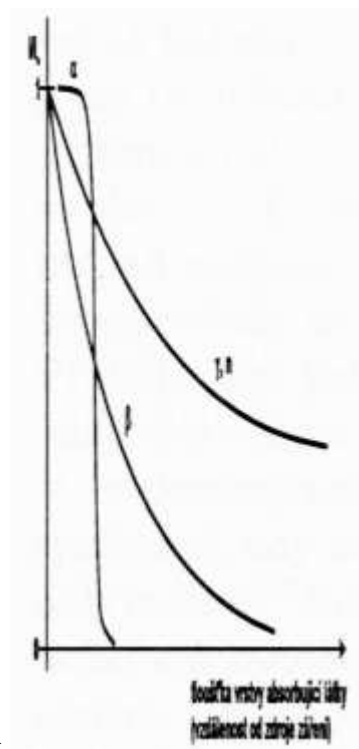


Rychlost asi $10^{-16} - 10^{-15}$ s, poměr a) a b) 1:2, elektrony způsobují další sekundární ionizaci a excitaci. Excitace je mnohonásobná a do vysokých excitačních stavů (na rozdíl od UV)

Pojmy a veličiny: ionizující záření, jaderné záření (pouze při radioaktivních přeměnách), radioaktivní záření (nesprávné, záření není radioaktivní {kromě n})

Absorpce záření – postupné odevzdávání energie až do stavu kdy už není schopno dále ionizovat

Dosah záření – tloušťka vrstvy která úplně absorbuje záření



Absorpční křivky

Dávka záření – energie sdělená ionizujícím zářením (energie získaná od všech primárně i sekundárně ionizujících částic) malému objemu látky

$$D = d\varepsilon / dm$$

Rozměr je $J\ kg^{-1}$, jednotkou Gray (Gy), $1\ Gy =$ energie $1\ J$ absorbovaná v $1\ kg$ látky.

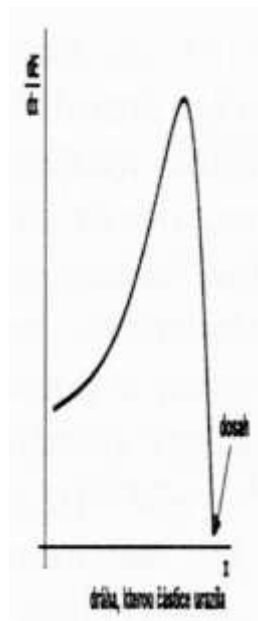
Rozsah dávek: $10^{-6} - 10^{-2}$ Gy při monitorování dávek v životním prostředí, $10^{-4} - 1$ Gy při monitorování dávek u profesionálních pracovníků se zářením, $10^{-1} - 10^2$ Gy v léčebném použití záření, $10^{-1} - 10^4$ Gy v radiobiologii a $10^2 - 10^5$ Gy v radiační chemii a technologii.

Dávkový příkon – rychlost s jakou je látce energie sdělována, rozměr W kg^{-1} , jednotka Gy s^{-1}

$$D(\text{s tečkou}) = dD / dt$$

Lineární přenos energie – používá se při posuzování biologických účinků IZ a udává rozložení sdělené energie podél dráhy částice, rozměr J m^{-1} , běžně $\text{keV } \mu\text{m}^{-1}$

$$L = dE / dx$$



(tzv Braggova křivka)

Lineární přenos energie ve vodě pro různé druhy záření

záření	keV, μm^{-1}
γ záření ^{60}Co (1,17 a 1,31 MeV)	0,22
rtg záření (200 keV)	1,7
rtg záření (50 keV)	6,3
elektrony (záření β) (1–2 MeV)	0,2
elektrony (10 keV)	0,3
elektrony (100 eV)	20
protony (10 MeV)	4,7
záření α (5 MeV)	40
jádra vzniklá jaderným štěpením (100 MeV)	1800

Mechanismus ztráty energie záření:

α : (těžké nabitě částice): krátký, ostře definovaný dosah, ionizace po většinu dráhy stejná pak ostrý pokles k 0 (zachycení elektronů a vznik He), dosah ve vzduchu několik cm, v kapalinách desítky μm , lineární ionizace je největší před koncem dráhy (viz Braggova křivka)

β : L je menší než u α , menší náboj a při stejné energii větší rychlost $v = \sqrt{2E/m}$, má proto větší pronikavost a dosah, v plynech metry, kapaliny milimetry:

Tabulka: Dosah (mm) β záření čtyř radionuklidů 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 (viz Absorpční křivky nahoře) má exponenciální průběh:

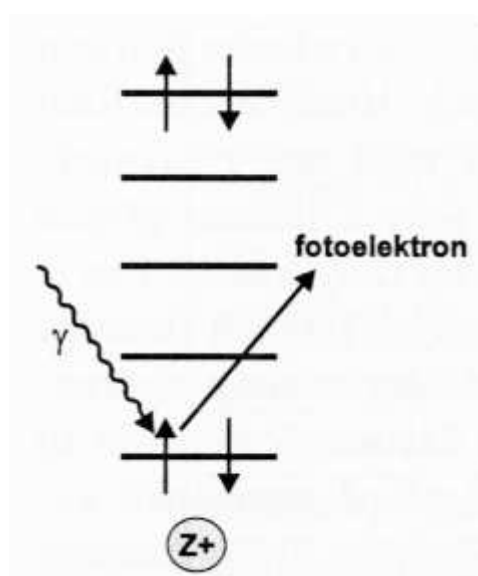
$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

Kde d je tloušťka absorbující vrstvy v m a μ je lineární absorpční koeficient v m^{-1} , závisí na hustotě elektronů absorbujícího prostředí a energii β záření.

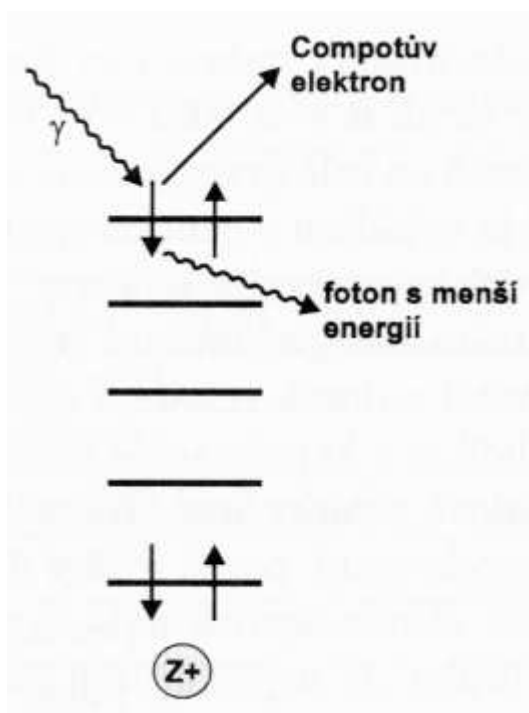
Další možností ztráty energie β záření – **brzdné záření** – při průniku až k jádru, dochází v elektrickém poli k vyzařování spojitého RTG záření ($0,1 - 0,4 \text{ nm} = 60 - 250 \text{ keV}$), uplatňuje se při velké energii β záření a velkém Z . **Čerenkovovo** záření vzniká je-li $v_\beta > c/n$, vzniká rázová elektromagnetická vlna – světelný záblesk. Ve vodě dochází pro $E_\beta > 0,26 \text{ MeV}$.

γ : Ionizuje nepřímo účinkem sekundárních elektronů, tři děje:

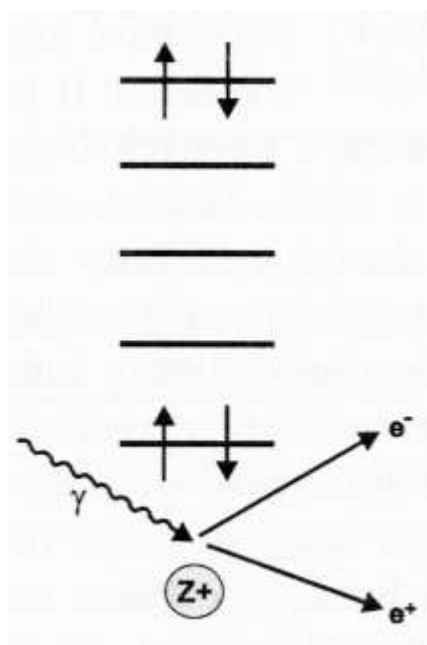
- a) **fotoefekt** – pro $E_\gamma < 0,1 \text{ MeV}$, na elektron uvnitř obalu se přeneše celá energie fotonu, pravděpodobnost silně závisí na Z a E_γ ($\sim Z^5 / E_\gamma^{3,5}$), doprovázen RTG emisí (zaplnění slupek)



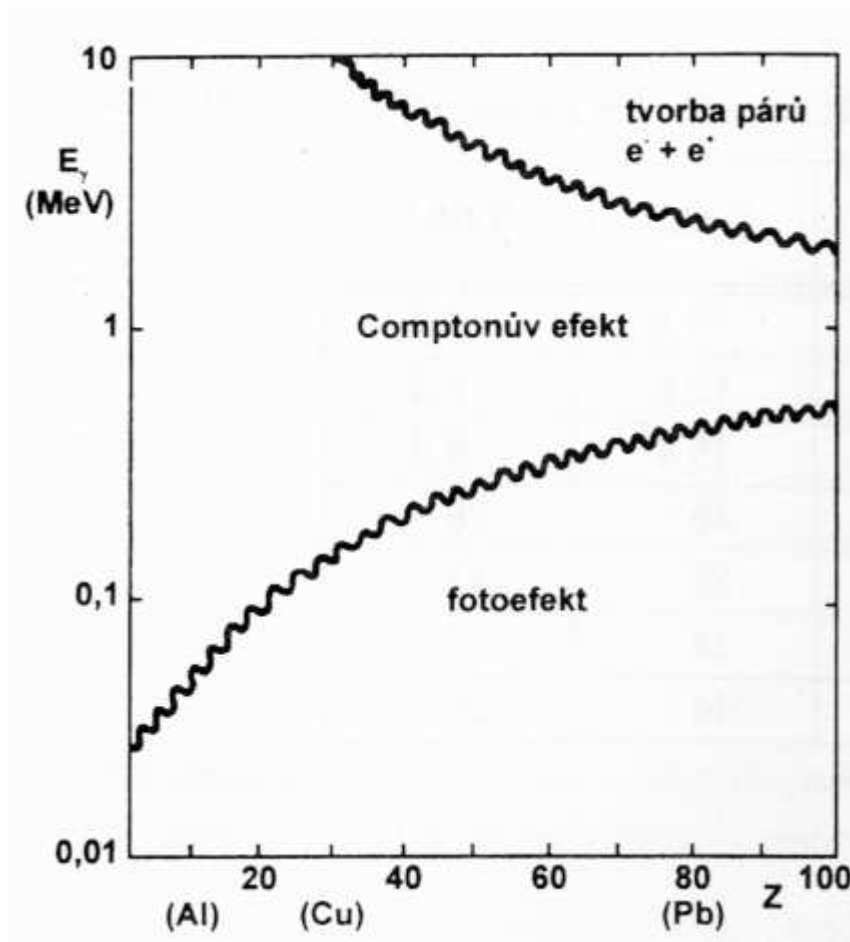
- b) **Comptonův rozptyl** - pro E_γ 0,1 - 2 MeV, interakce s orbitálními elektrony, foton předá část své energie a uvolňuje jej z atomu (Comptonův elektron), atd. (zmenšuje se E_γ a směr γ se mění, až zanikne fotoefektem), pravděpodobnost $\sim Z / E_\gamma$



- c) **tvorba párů** – v blízkosti atomového jádra a pro $E_\gamma > 1,02$ MeV, dochází ke vzniku páru e^- a e^+ , pravděpodobnost $\sim Z^2 / E_\gamma$, pozitrony zanikají anihilací



Uplatnění těchto 3 dějů:



Lineární ionizace je malá a dosah γ proto velký, nelze jej běžně určit. Zeslabení svazku γ se řídí vztahem:

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

Kde μ (lineární absorpční koeficient) zahrnuje všechny tři děje a závisí proto na Z a E_γ . Pronikavost γ se vyjadřuje pomocí **polotloušťky** – vrstva zeslabující počáteční intenzitu záření na $1/2$. $I = I_0 / 2 \rightarrow I_0 / 2 = I_0 e^{-\mu d}$

$$1/2 = e^{-\mu d}$$

$$\ln(1/2) = -\mu d$$

$$-\ln 2 = -\mu d$$

$$d = \ln 2 / \mu$$

$$\mathbf{d_{1/2} = \ln 2 / \mu}$$

Tabulka: 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

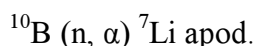
Pro vzduch pro 0,1 MeV 35 m, pro 1,0 MeV 90 m.

n: energii ztrácí srážkami s atomovými jádry, k účinnému zpomalení dochází při srážce s lehkými jádry (nejlépe ^1H),

$$\Delta E = E (4 m M) / (m + M)^2$$

po zpomalení na energii $\sim 10^{-2}$ eV (tepelné neutrony) zanikají jadernou reakcí, stejně jako u γ nemá n záření definovaný dosah, μ závisí na účinném průřezu (σ rozměr m^2 , závisí na energii projektilu a druhu jaderné reakce) záchytu neutronů jádry absorbující látky

Pronikavost n se vyjadřuje opět pomocí **polotloušťky**. Ionizační účinky jsou nepřímé a jsou způsobeny částicemi, které vznikají jadernou reakcí při záchytu neutronu.



Při srážce s H (živé organismy) $\Delta E = E$, vyražení p z H atomu se značnou E_{kin} a velkým lineárním přenosem energie, nebezpečné pro živé organismy

Zdroje IZ:

- aparaturní – záření vzniká jen během provozu zařízení
- radionuklidové – emitují záření nepřetržitě

Zdroje γ a RTG záření: γ : ^{241}Am , ^{109}Cd , ^{57}Co , ^{55}Fe , ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir ; RTG: RTG lampy, ^{109}Cd , radionuklidy generující brzdné záření při absorpci β záření, urychlovače elektronů

Zdroje elektronů: ^{90}Sr / ^{90}Y , ^3H , ^{147}Pm ; urychlovače elektronů

Zdroje pozitronů: ^{22}Na , ^{68}Ge

Zdroje těžkých kladných částic: α : ^{210}Po , ^{226}Ra , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Am , urychlovače částic

Zdroje neutronů: radionuklidové zdroje založené na reakci (α , n) a samovolném štěpení, neutronový generátor (^3H (d, n) ^4He), jaderný reaktor

Ochrana před IZ:

Spočívá v zeslabení dávky záření na hodnotu při níž je riziko pro lidský organismus sníženo na zanedbatelnou hodnotu.

Metody ochrany před IZ:

- a) udržováním patřičné vzdálenosti od zdroje záření $\sim 1 / l^2$ (důležité u γ záření)
- b) odstíněním záření (všude kromě α záření, u β stačí 1-2 cm skla, plexiskla, u γ olovo, železobeton, beton s barytem (BaSO_4 – těživec), pozitrony se stíní jako γ , stejně se stíní γ při reakci pomalých neutronů s jádry atomů, neutrony se zpomalují př. parafinem)
- c) nejkratší dobou pobytu v prostoru kde záření působí