

Zdroje žiarenia β

Vlastnosti žiarenia β
Interakcia β žiarenia s látkou

Častice β

- Najčastejšia rádioaktívna premena je premena β , a to niektorý z typov premeny:
 - β^- ,
 - β^+ alebo
 - EZ** elektrónový záchyt, angl. EC – electron capture

Dozimetria a radiačná ochrana

β premena

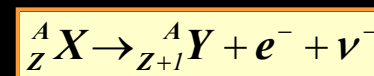
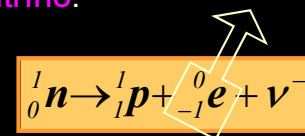
- β žiarenie pochádza z jadra a vzniká rozpadom nukleónov.
- Pri rozpade neutrónu vzniká **elektrón**, **protón** a **antineutríno**.
- Pri rozpade protónu vzniká **neutrón**, **pozitrón** a **neutríno**.

Niekedy sa rozlišuje záporný a kladný elektrón: negatrón a pozitron

Dozimetria a radiačná ochrana

β^- premena

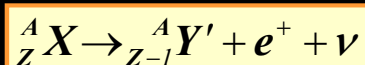
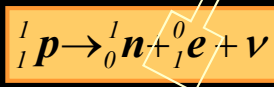
- Pri premene β^- sa v jadre premení jeden **neutrón** na **protón**, **elektrón** a **antineutríno**.



Dozimetria a radiačná ochrana

β^+ premena

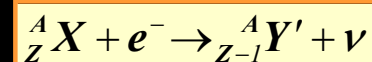
- Pri β^+ premene sa v jadre premení jeden **protón** na **neutrón**, **pozitrón** a **neutríno**.



Dozimetria a radiačná ochrana

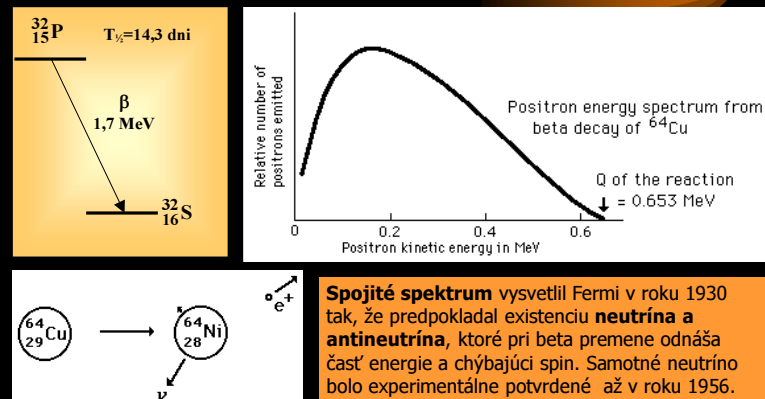
Elektrónový záchyt

- Pri elektrónovom záchyte (EZ) jadro pohltí **elektrón** z vnútorných orbít atómového obalu, ktorý sa zlúči s **protónom** za vzniku **neutrónu** a **neutrína**.



Dozimetria a radiačná ochrana

Priklady β premeny a β spektra



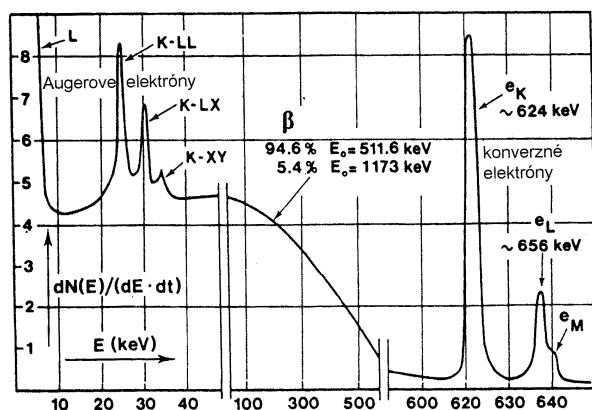
Dozimetria a radiačná ochrana

Vlastnosti β spektra

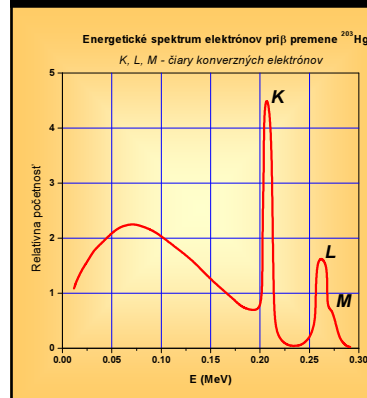
- Energetické spektrum** emitovaných β častíc je spojité, lebo pri premene vznikajú vždy dve častice (elektrón a antineutríno alebo pozitron a neutríno), pričom sa energia môže medzi ne rozdeliť v ľubovoľnom pomere.
- V spojitom spektre elektrónov sa môžu objaviť aj **diskrétné** čiary **Augerových** a **konverzných elektrónov**.
- Augerov elektrón** sa vyžiari namiesto fotónu charakteristického RTG
- Konverzný elektrón** sa vyžiari namiesto gama fotónu.

Dozimetria a radiačná ochrana

Spektrum elektrónového žiarenia pri premene ^{137}Cs



Vlastnosti β spektra



Emisia konverzných elektrónov je konkurenčný proces emisii fotónov, keď je excitačná energia odovzdaná obalovému elektrónu z orbit blízkych jadra (K prípadne L) namiesto emisie fotónu. Nejedná sa teda o β premenu.

Energia konverzného elektrónu sa rovná energii príslušného prechodu γ , zníženej o ich väzobnú energiu na danej orbite atómu.

Uvoľnené miesto na vnútornej orbite sa obsadzuje vonkajšími elektrónmi, čo je sprevádzané emisiou charakteristického žiarenia X.

Vnútna konverzia je pravdepodobnejšia u atómov ťažkých prvkov, kde sú elektrónové orbity bližšie k jadrú.

Dozimetria a radiačná ochrana

Interakcia β častíc s hmotným prostredím

- β častice pri prechode hmotným prostredím strácajú svoju energiu v dôsledku **pružných a nepružných zrážok** a v dôsledku emisie tzv. **brzdného žiarenia**, ktoré vzniká premenou kinetickej energie častice pri brzdení.
- Výsledkom nepružných zrážok je ionizácia a excitácia atómov prostredia.
- Brzdné žiarenie má charakter röntgenového žiarenia.
- Hovoríme o **ionizačných a radiačných stratách**.

Dozimetria a radiačná ochrana

Interakcia β častíc s hmotným prostredím

- Pomer radiačných a ionizačných strát vyjadruje vzťah:

$$\tau = \frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_r}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_i} = \frac{E_\beta Z}{800}$$

E_β - je maximálna energia β spektra (MeV),

Z - protónové číslo absorbátora.

Dozimetria a radiačná ochrana

Interakcia β častíc s hmotným prostredím

Zoslabovanie počtu elektrónov,
pochádzajúcich zo zdrojov so spojitým
spektrum, približne vyjadruje vzťah:

$$N = N_0 e^{-\mu x}$$

N_0 je pôvodný počet elektrónov,
 N - počet elektrónov po prechode
absorbátorom hrúbky x ,
 μ - lineárny súčiniteľ zoslabenia.

Dozimetria a radiačná ochrana

Interakcia β častíc s hmotným prostredím

Hrúbka polovičného zoslabenia:

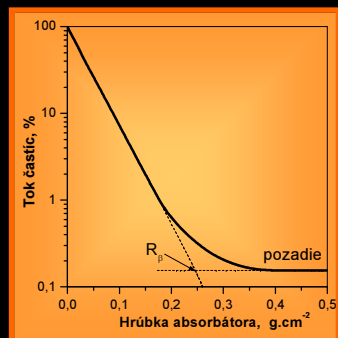
$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\mu d_{1/2}}$$

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

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} = \frac{0,693}{d_{1/2} \rho} \quad [kg \cdot m^{-2}]$$

Dozimetria a radiačná ochrana

Prechod β častíc látkou



Exponenciálna závislosť zoslabenia zväzku elektrónov v materiáloch platí pre elektróny s vysokou energiou. Elektróny strácajú energiu hlavne pri pružnom rozptyle, pričom sa len málo odkláňajú od pôvodného smeru. Teoreticky sa dá ukázať, že stredný uhol rozptylu je nepriamo úmerný energii elektrónu a priamo úmerný odmocnine hrúbky materiálu, ktorým elektrón prešiel. Čím je energia elektrónov nižšia, tým väčší je vplyv rozptylu a tým viac sa pôvodný zväzok rozširuje. Pri priblížení energie k energii tepelného pohybu sa znižovanie intenzity spomali až sa nakoniec ustáli na úrovni pozadia, kedy môžeme pohyb elektrónov považovať za difúziu.

Dozimetria a radiačná ochrana

Dolet β častíc

Približné empirické vzťahy pre určenie doletu β častíc:

Pre hliník: $R_{Al} = 2,5 \cdot E_{max}$ [mm, MeV]

Pre vzduch: $R_{vzd} = 4 \cdot E_{max}$ [m, MeV]

Pre iné materiály:

$$R_X = R_{Al} \left(\frac{Z}{A} \right)_{Al} \left(\frac{Z}{A} \right)_X$$

Dozimetria a radiačná ochrana

Ochrana a meranie beta žiarenia

- Beta žiarenie rádionuklidov je **slabo prenikavé** žiarenie a z tohto pohľadu k nemu treba pristupovať pri meraní a RO.
- Dolet beta častíc s typickou energiou v pevných látkach (Al) je **1-3 mm**. Vo vzduchu sú to **metre**.
- Z pohľadu merania má význam:
 - meranie **vonkajšieho ožarovania** osobným dozimetrom pre slabo prenikavé žiarenie
 - meranie **kontaminácie odevov a povrchu tela** beta rádionuklidmi
 - meranie **vnútornej kontaminácie** beta rádionuklidmi nepriamymi metódami z moču a exkrétov (napr. ^3H , ^{90}Sr) na obsah ťažko merateľných rádionuklidov (nemôžeme použiť gamaspektrometriu, fastscan a pod.)

Dozimetria a radiačná ochrana

Prechod β častíc látkou

Prechod β častíc látkou má zložitejšiu povahu ako prechod častíc α . Rozdiely sú spôsobené tým, že β častice sú podstatne ľahšie, majú menší náboj, väčšiu rýchlosť a ich dráha v látke je klukatá. Dosah β častíc v látke je preto väčší ako častíc α .

Energia [MeV]	Vzduch [m]	Voda [mm]	Hliník [mm]
0,01	0,00229	0,00247	0,00127
0,1	0,130	0,143	0,0693
1,0	3,94	4,38	2,06
2,0	8,73	9,84	4,59
3,0	13,41	15,3	7,74
4,0	17,86	20,6	9,84
5,0	22,28	25,8	11,89

Dozimetria a radiačná ochrana

Ochrana pred β žiarením

- Ako ochranu pred žiarením volíme ľahký **materiál s malým Z**, kvôli zníženiu radiačných strát, najčastejšie hliník pre jeho dostupnosť a mechanické vlastnosti.
- Pri vysokoenergetickom žiarení vzhľadom na brzdné žiarenie navrhujeme ochranu kombinovanú (napr. Al - Fe, Al - Pb a pod.), aby sme energiu brzdného žiarenia znížili na minimum.

Dozimetria a radiačná ochrana

Empirické výpočty ochrany

Pre hliník môžeme stanoviť hrúbku polovičného zoslabenia z empirického vzťahu:

$$d_{1/2} = 1,5 \cdot 10^{-4} E_{\max}^{-1,33} [m, MeV]$$

Uvedený vzťah platí s vyhovujúcou presnosťou pre $0,5 < E_{\max} < 6 \text{ MeV}$.

$$\mu_m = 2,23 \cdot E_{\max}^{-1,33} [m^2 \cdot kg^{-1}, MeV]$$

Pre ten istý materiál určíme hmotnostný súčiniteľ zoslabenia

$$d_{1/2} = 9,5 \cdot 10^{-3} \left(\frac{Z}{A} \right) \cdot \sqrt{E_{\max}^3} [m, MeV]$$

Pre ľubovoľný iný materiál (v rozsahu od H po Cu):

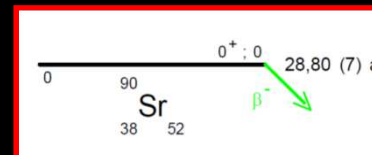
Dozimetria a radiačná ochrana

Ochrana pred β žiarením

- V okolí reaktora, ktorý je aj zdrojom iných, prenikavejších druhov žiarenia (fotóny, neutróny) budovaní ochrany pred β žiarením **nie je potrebné** venovať mimoriadnu pozornosť, pretože navrhnutá ochrana pred spomínanými druhmi žiarenia stačí odfiltrovať aj sprievodné žiarenie β .
- Pri vysokoenergetickom žiarení vzhľadom na vznikajúce brzdné žiarenie treba však **preveriť**, či je ochrana dostatočná.

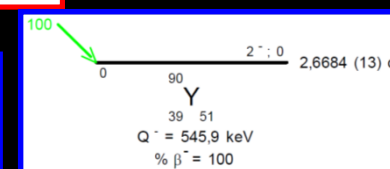
Dozimetria a radiačná ochrana

Rozpadová schéma pre „čistý“ beta žiarič ^{90}Sr



^{90}Sr	Energy keV	Electrons per 100 disint.
$\beta_{0,0}^-$	max: 545,9 (14)	100
$\beta_{0,0}^-$	avg: 196 (1)	

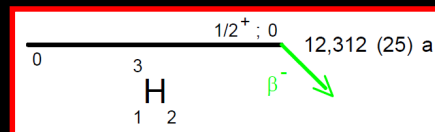
^{90}Y	Energy keV	Electrons per 100 disint.
$\text{ec}_{1,0}^+$	(Zr) 768,7 (6)	0,00319 (5)
$\beta_{0,2}^-$	max: 93,5 (17)	0,0000014 (3)
$\beta_{0,2}^-$	avg: 24,5 (5)	
$\beta_{0,1}^-$	max: 519,1 (17)	0,017 (6)
$\beta_{0,1}^-$	avg: 163,7 (6)	
$\beta_{0,0}^-$	max: 2279,8 (17)	99,983 (6)
$\beta_{0,0}^-$	avg: 926,7 (8)	



^{90}Y	Energy keV	Photons per 100 disint.
$\gamma_{2,0}(\text{Zr})$	2186,254 (10)	0,0000014 (3)

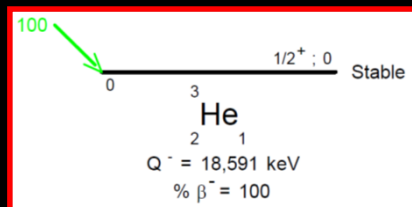
a a radiačná ochrana

Rozpadová schéma pre čistý beta žiarič ^3H



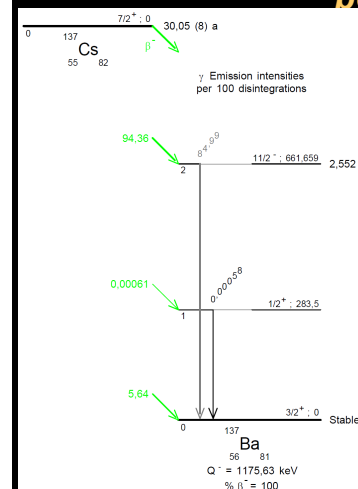
^3H	Energy keV	Electrons per 100 disint.
$\beta_{0,0}^-$	max: 18,564 (3)	100
$\beta_{0,0}^-$	avg: 5,68 (1)	

Dolet takého žiarenia je cca. 2 mm vo vzduchu resp. 2 μm vo vode.



Dozimetria a radiačná ochrana

Rozpadová schéma typického beta-rádionuklidu ^{137}Cs



^{137}Cs	Energy keV	Electrons per 100 disint.
$\beta_{0,2}^-$	max: 513,97 (17)	94,36 (28)
$\beta_{0,2}^-$	avg: 174,32 (6)	
$\beta_{0,1}^-$	max: 892,1 (2)	0,00061 (8)
$\beta_{0,1}^-$	avg: 300,57 (8)	
$\beta_{0,0}^-$	max: 1175,63 (17)	5,64 (28)
$\beta_{0,0}^-$	avg: 416,26 (8)	

	Energy keV	Photons per 100 disint.
$\gamma_{1,0}(\text{Ba})$	283,5 (1)	0,00058 (8)
$\gamma_{2,0}(\text{Ba})$	661,657 (3)	84,99 (20)

a radiačná ochrana

