

Zdroje žiarenia α

Charakteristika žiarenia
Interakcia s látkou

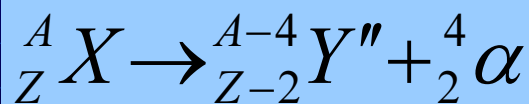
Dozimetria a radiačná ochrana

1

α žiarenie

S α -premenou sa stretávame u ťažkých jadier od olova vyššie a jadier niektorých vzácnych zemín.

Jadrová α -premena prebieha podľa nasledovného vzťahu:



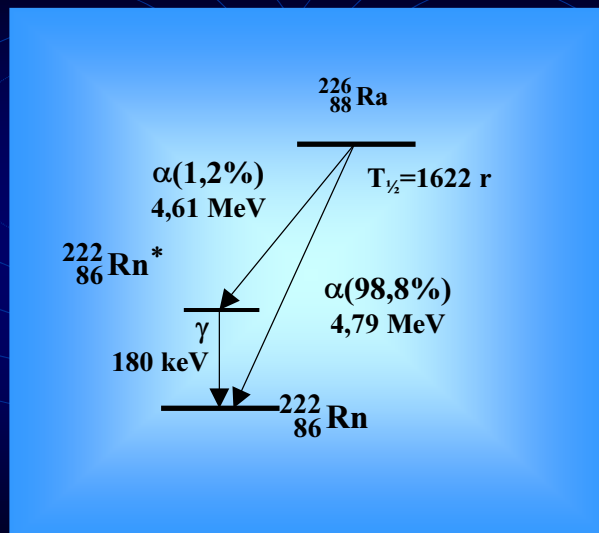
A – hmotnostné číslo, udáva počet nukleónov v jadre

Z – atómové číslo (protónové číslo), udáva počet protónov v jadre

Dozimetria a radiačná ochrana

2

α -premena



Dozimetria a radiačná ochrana

3

α žiarenie

- Energetické spektrum emitovaných α častíc má obvykle niekoľko diskretných čiar.
- Energia emitovaných častíc je pomerne vysoká, lebo len taká častica je schopná opustiť jadro cez Coulombovu potenciálnu bariéru.
- Vznikajúce dcérske jadro môže byť excitované ale excitačná energia je malá. Sprievodné γ žiarenie má spravidla nízku energiu.

Dozimetria a radiačná ochrana

4

Urán ako α žiarič

	Alpha Emission Products:		Photon Emission Products:	
	Fraction	Energy(MeV)	Fraction	Energy(MeV)
U-238	0.230000	4.147000	0.000970	0.066376
	0.770000	4.196000	0.088313	0.013000
U-235	0.015000	4.344000	0.010000	0.202120
	0.017000	4.502000	0.015000	0.109140
	0.021000	4.414000	0.020629	0.105000
	0.042000	4.556000	0.027289	0.089953
	0.046000	4.325000	0.044590	0.093350
	0.050000	4.598000	0.047000	0.163350
	0.057000	4.217000	0.047000	0.205310
	0.060000	4.370000	0.105000	0.143760
	0.110000	4.364000	0.309130	0.013000
	0.550000	4.396000	0.540000	0.185720

Dozimetria a radiačná ochrana

5

Príklady zdrojov žiarenia α

Rádionuklid	Polčas premeny	Energia častíc α [MeV]
^{238}U	$4,468 \cdot 10^9$ rokov	4,198; 4,149; 4,041
^{235}U	$7,038 \cdot 10^8$ rokov	17 čiar medzi 4,599 a 4,155
^{232}Th	$1,405 \cdot 10^{10}$ rokov	4,010; 3,952; 3,828
^{226}Ra	1600 rokov	4,785; 4,602
^{222}Rn	3,8235 dní	5,490
^{220}Rn	55,6 s	6,288
^{214}Po	$1,643 \cdot 10^{-4}$ s	7,687
^{212}Po	$3,05 \cdot 10^{-7}$ s	8,785; 9,497; 10,43; 10,55
^{210}Po	138,8 dní	5,297

Dozimetria a radiačná ochrana

6

Typické alfa spektrum plutónia

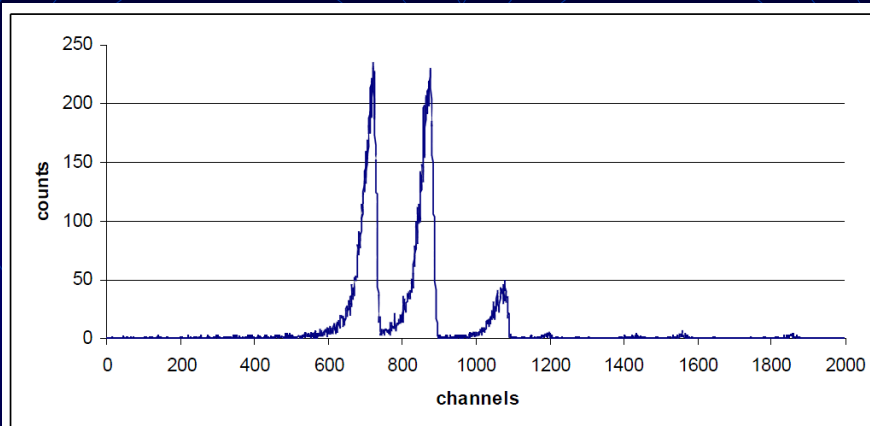


Fig. V-1. Typical plutonium alpha spectrum with ^{242}Pu as yield tracer. Peaks in the spectrum from left to right are: ^{242}Pu , $^{239,24}\text{Pu}$, ^{238}Pu

Dozimetria a radiačná ochrana

7

Radiačné parametre izotopov plutónia

Radioactive Properties of Key Plutonium Isotopes						
Isotope	Half-Life	Specific Activity (Ci/g)	Decay Mode	Radiation Energy (MeV)		
				Alpha (α)	Beta (β)	Gamma (γ)
Pu-236	2.9 yr	540	α	5.8	0.013	0.0021
Pu-238	88 yr	17	α	5.5	0.011	0.0018
Pu-239	24,000 yr	0.063	α	5.1	0.0067	<
Pu-240	6,500 yr	0.23	α	5.2	0.011	0.0017
Pu-241	14 yr	100	β	<	0.0052	<
Pu-242	380,000 yr	0.0040	α	4.9	0.0087	0.0014
Pu-244	83,000,000 yr	0.000018	α	4.6	0.0071	0.0012

Dozimetria a radiačná ochrana

8

Typické alfa spektrum amerícia

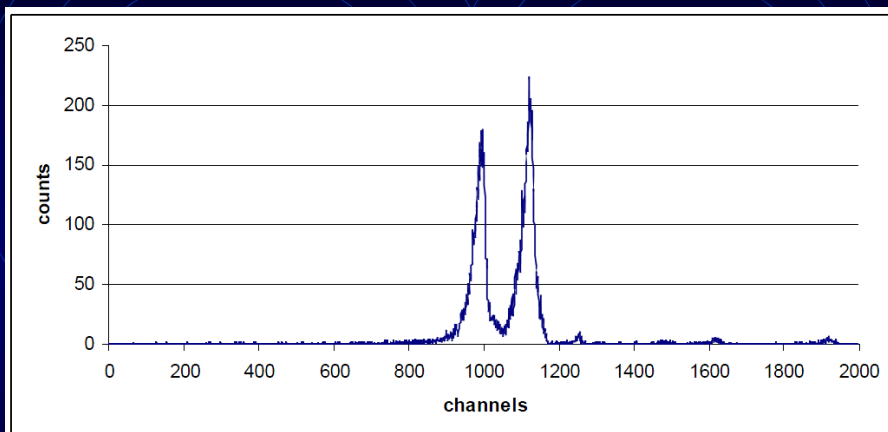


Fig. V-2. Typical americium alpha spectrum with ^{243}Am as yield tracer. Peaks in the spectrum from left to right are: ^{243}Am , ^{241}Am

Dozimetria a radiačná ochrana

9

Prechod α žiarenia látkou

- Pri prechode - α častíc cez hmotné prostredie dochádza k **pružnému rozptylu** na elektrónoch a jadrách atómov prostredia, pričom prakticky nedochádza k stratám energie.
- Dochádza aj k **nepružným zrážkam** s orbitálnymi elektrónmi. Pri týchto zrážkach dochádza k ionizácii a vzbudzovaniu atómov a molekúl, prípadne k disociácii molekúl, čo je sprevádzané stratami energie - častíc.

Dozimetria a radiačná ochrana

10

Prechod α žiarenia látkou

Energetické straty na ionizáciu a excitáciu prostredia vyjadrujeme pomocou veličiny

L - stredné lineárne straty. Závisia od:

- Náboja častice ze
- Rýchlosti častice v
- Druhu brzdiacej látky (Z - atómové číslo, N - jadrová hustota)

$$L = \frac{dE}{d\ell} \leq K \cdot \frac{N \cdot Z \cdot z^2 e^4}{v^2}$$

Dozimetria a radiačná ochrana

11

Vzťah pre stredné lineárne straty

Stratu energie počas letu častice vyjadruje kvantovo-mechanický vzťah, ktorý odvodil M. A. Bethe:

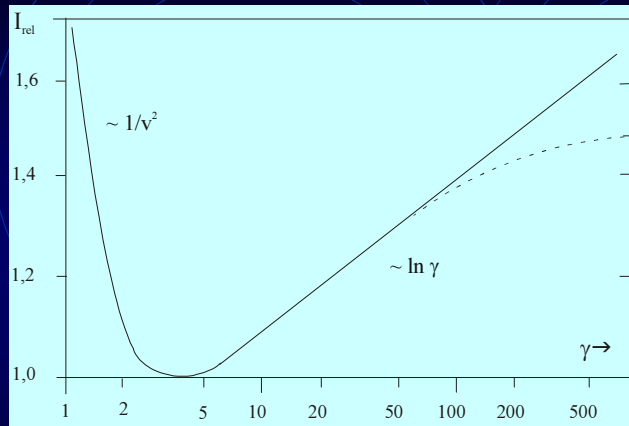
$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi \cdot z^2 e^4}{m_e v^2} nZ \left[\ln \frac{2m_e v^2}{I(1-\beta)^2} - \beta^2 \right]$$

kde: m_e je pokojová hmotnosť elektrónu,
 ze je elektrický náboj brzdennej častice ,
 v je rýchlosť brzdennej častice,
 n je počet atómov brzdiaceho prostredia v jednotke objemu,
 Z je atómové číslo brzdiaceho prostredia,
 I je efektívny ionizačný potenciál
 β je relativistická rýchlosť častice.

Dozimetria a radiačná ochrana

12

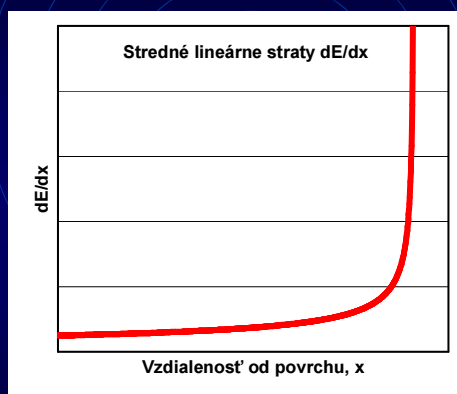
Typická závislosť relatívnych špecifických strát energie v plynoch pri normálnych podmienkach od Lorentzovho faktora.



Podľa Betheho modelu interakcie relativistický rast energetických strát s rastom energie častíc neustále pokračuje. Experimenty však ukázali, že tento rast je pomalší /ako logaritmický/, až sa nakoniec zastaví. Pri veľmi vysokých energiách už energetické stráty nezávisia od energie častíc a krivka ionizačných strát vychádza na tzv. Fermiho plató. Preto v r. 1933 vypracoval F. Bloch komplexnejší model interakcie ťažkých častíc na základe kvantovej relativistickej elektrodynamiky.

$I_{rel} = (dE/dx)/(dE/dx)_{min.}$; $\gamma = E/E_0 = m/m_0 = 1/\sqrt{1-\beta^2}$
 E_0 ; m_0 – pokojová energia a hmotnosť častice
 E ; m – celková relativistická energia a hmotnosť častice

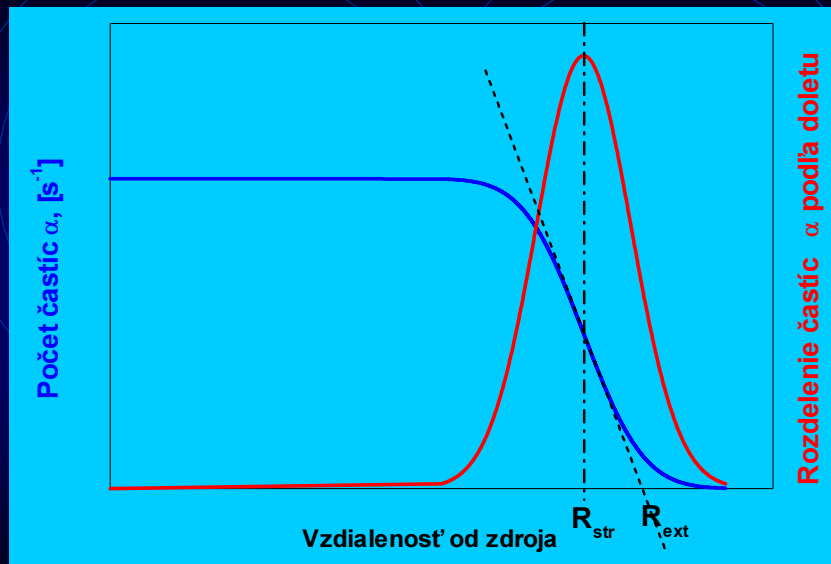
Stredné lineárne straty častíc α



Stredné lineárne straty na ionizáciu a vzbudzovanie sú nepriamo úmerné štvorcu rýchlosti častice.

Najväčšiu ionizáciu budeme pozorovať na konci dráhy častice, keď $v \rightarrow 0$.

Dolet častíc α v látke



Dozimetria a radiačná ochrana

15

Stredné lineárne straty energie

V zahraničnej literatúre sa pre stredné lineárne straty používajú veličiny: S - *Stopping power* (lineárna zrážková brzdná schopnosť) a LET - *Linear Energy Transfer* (lineárny prenos energie), ktoré sú definované podobne.

Počet vytvorených iónových párov na jednotku dráhy vyjadruje veličina J - *merná ionizácia* [m^{-1}]. Ak poznáme strednú energiu ionizácie v prostredí x W_x [J, resp. MeV], môžeme vypočítať lineárny prenos energie L podľa vzťahu:

$$L = W_x \cdot J = \frac{\text{energia}}{1 \text{ iónový pár}} \cdot \frac{\text{počet iónových párov}}{\text{jednotka dráhy}} = \frac{\text{energia}}{\text{jednotka dráhy}}$$

Dozimetria a radiačná ochrana

16

Intenzita ionizácie vzduchu α časticami



Dozimetria a radiačná ochrana

17

Intenzita ionizácie vzduchu α časticami

- Energia potrebná na vytvorenie jedného iónového páru vo vzduchu je
 $W_{\text{vzd}} = 34 \text{ eV}$
- Ak je energia emitovaných častíc 7,68 MeV, môžeme vypočítať celkový počet iónových párov N_p , vznikajúcich pozdĺž dráhy jednej častice

$$N_p = \frac{7,68 \cdot 10^6 \text{ eV}}{34 \text{ eV}} = 226\,000 \text{ iónových párov}$$

Dozimetria a radiačná ochrana

18

Dosah (dolet) α častíc vo vzduchu

Dolet α častíc o energiách 3 - 7 MeV vo vzduchu určíme približne zo vzťahu:

$$R_{\alpha} = 0,318 \cdot \sqrt{E_{\alpha}^3} \quad [cm, MeV]$$

$$R_{\alpha} = 0,56 \cdot E_{\alpha} \quad [cm, MeV, E_{\alpha} \leq 4 MeV]$$

Presnosť týchto empirických vzťahov je 10%.

Dosah α častíc v rôznych materiáloch

$$R_{x\alpha} = 10^{-3} \cdot \frac{\sqrt{A_x E_{\alpha}^3}}{\rho_x} \quad [m, MeV, kg \cdot m^{-3}]$$

A_x je hmotnostné číslo prostredia

ρ_x - merná hmotnosť [$kg \cdot m^{-3}$]

Dolet α častíc v rôznych materiáloch

E_{α} MeV	Vzduch [cm]	Biol. tkanivo [μm]	Hliník [μm]
4	2,5	31	16
5	3,5	43	23
6	4,6	56	30
7	5,9	72	38
8	7,4	91	48
9	8,9	110	53
10	10,6	130	69

Dozimetria a radiačná ochrana

21

Ochrana pred α žiarením

- Z pohľadu radiačnej ochrany je α žiarenie nebezpečné hlavne pri **vnútornom ožiarení** po inhalácii alebo ingestii a pri ožiarení očí.
- Povrchová vrstva pokožky dokáže pohltiť všetko žiarenie α .
- Pri navrhovaní tienenia v jadrových zariadeniach netreba α žiarenie brať do úvahy, lebo tienenie navrhované pre γ žiarenie úplne odtieni aj všetko α žiarenie.

Dozimetria a radiačná ochrana

22

Detektory alfa žiarenia

- Na detekciu častíc a je možné použiť veľa rozličných typov detektorov, napríklad:
 - impulzné ionizačné komory,
 - plynové proporcionálne počítače s tenkým okienkom, alebo s interným zdrojom,
 - scintilačné detektory (kvapalné scintilátory, čisté alebo aktivované NaI, aktivované CsI a ZnS a plastické detektory),
 - polovodičové detektory Si(Li), HPGe, kremíkové povrchovo bariérové detektory a diódy s difúznym prechodom.

Detekcia alfa žiarenia

- Pri meraní treba brať do úvahy dolet častíc v pevných látkach na úrovni desiatok mikrometrov a z toho vyplývajúci veľký vplyv **samoabsorpcie** v meranom objeme, **absorpcie vo vzduchu** medzi detektorom a meraným materiálom, absorpcie v okienku meracieho prístroja a podobne.
- Na meranie sa najčastejšie používajú plynové detektory s okienkom z tenkej **mylarovej fólie** alebo bezokienkové na priame meranie, tenké **scintilačné** plastické fólie hlavne na báze **ZnS(Hg)** a kremíkové **polovodičové detektory** (PIPS, SiLi), ktoré majú aj dobré spektrometrické vlastnosti.

Detekcie alfa žiarenia v JZ

- v jadrových zariadeniach má praktický význam
 - stanovenie alfa aktivity aerosólov vo vzduchu technologických priestorov a plyných výpustiach,
 - stanovenie alfa aktivity skladovaných a vypúšťaných kvapalných médií,
 - stanovenie alfa aktivity povrchov a rádioaktívnych materiálov.

Meranie alfa aktivity v ŽP

- Stanovenie **celkovej alfa aktivity** vody, vzduchu a potravín.
- Spektrometrické stanovenie **aktivity** prírodných **rádionuklidov** a umelých kontaminantov v zložkách biosféry (voda, vzduch, pôda...), rastlinách a živočíchoch.
- Pozri VYHLÁŠKU MZ SR č. 528/2007 Z.z. o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia z prírodného žiarenia

VYHLÁŠKA MZ SR č. 528/2007 Z.z. o požiadavkách na obmedzenie ožiarania z prírodného žiarenia

- Smernou hodnotou na vykonanie opatrení na zníženie obsahu prírodných rádionuklidov v stavebných výrobkoch určených na výstavbu stavieb s pobytovými priestormi je hmotnostná aktivita ^{226}Ra v stavebnom výrobku 120 Bq.kg^{-1} .
- Index hmotnostnej aktivity stavebných materiálov

$$I = \frac{a_{\text{Ra}}}{300} + \frac{a_{\text{Th}}}{200} + \frac{a_{\text{K}}}{3\,000},$$

27

Vyhláška MZ SR č. 528/2007 Z.z.: Rozbor a hodnotenie obsahu prírodných rádionuklidov v dodávanej vode

- a) celková objemová aktivita alfa
- b) celková objemová aktivita beta
- c) objemová aktivita ^{222}Rn pri vode
- d) objemová aktivita ^{226}Ra , ak celková objemová aktivita alfa presiahne smernú hodnotu
- e) obsah uránu, ak celková objemová aktivita alfa po odčítaní príspevku od ^{226}Ra presiahne smernú hodnotu
- f) objemové aktivity ďalších rádionuklidov emitujúcich žiarenie alfa uvedených v tabuľke č. 3, ak celková objemová aktivita alfa po odčítaní príspevku ^{226}Ra a uránu presiahne smernú hodnotu na vykonanie opatrení

Dozimetria a radiačná ochrana

28

Vyhláška MZ SR č. 528/2007 Z.z.: Rozbor a hodnotenie obsahu prírodných rádionuklidov v dodávanej vode

- g) objemová aktivita 40K, ak celková objemová aktivita beta presiahne smernú hodnotu na vykonanie opatrení
- h) objemové aktivity ďalších rádionuklidov emitujúcich žiarenie beta uvedených v tabuľke č. 3, ak celková objemová aktivita beta po odčítaní príspevku 40K presiahne smernú hodnotu na vykonanie opatrení

Tabuľka č. 2

Smerné hodnoty na vykonanie opatrení

Druh dodávanej vody	Celková objemová aktivita alfa [Bq.l ⁻¹]	Celková objemová aktivita beta [Bq.l ⁻¹]	Objemová aktivita ²²² Rn [Bq.l ⁻¹]
Pramenná voda „vhodná na prípravu stravy pre dojčatá“	0,1	0,2	20
Prírodná minerálna voda	1,0	2,0	100
Pramenná voda, balená pitná voda, pitná voda	0,2	0,5	100

Dozimetria a radiačná ochrana

29

Najvyššie prípustné hodnoty obsahu rádionuklidov v dodávanej vode

Tabuľka č. 3

Najvyššie prípustné hodnoty obsahu rádionuklidov v dodávanej vode

Rádionuklid	Pramenná voda „vhodná na prípravu stravy pre dojčatá“ [Bq.l ⁻¹]	Prírodná minerálna voda [Bq.l ⁻¹]	Pramenná voda, balená pitná voda, pitná voda [Bq.l ⁻¹]
²¹⁰ Pb	0,1	0,8	0,3
²¹⁰ Po	0,1	0,5	0,2
²²² Rn	–	600	300
²²³ Ra	0,2	5,0	1,5
²²⁴ Ra	0,3	7,5	2,3
²²⁶ Ra	0,2	1,9	0,6
²²⁸ Ra	0,1	0,7	0,3
²³⁴ U	1,8	12,1	3,9
²³⁵ U	1,9	12,6	4,1
²³⁸ U	2,0	13,2	4,3

Dozimetria a radiačná ochrana

30

Kalibračné energie alfa (keV)

Jednoduché emitory				Premenové reťazce			
¹⁴⁸ Gd	3182,71(3)*	²¹⁰ Po	5304,38(7)	²²⁸ Th	5423,20(22)	²¹¹ Bi	6622,9(6)
²³² Th	4013(3)	²⁴¹ Am	5485,60(12)		5340,31(15)		6278,8(6)
	3954(8)		5442,90(13)	²²⁴ Ra	5685,42(15)	²¹⁹ Rn	6819,1(3)
²³⁸ U	4197(5)	²³⁸ Pu	5499,07(20)		5448,7(12)		6553,0(3)
	4150(5)		5456,3(2)	²¹² Bi	6089,94(4)		6424,7(3)
²³⁵ U	4599(2)	²³⁶ Pu	5767,66(8)		6050,83(4)	²¹⁵ Po	7386,2(8)
	4400(2)		5721,00(10)	²²⁰ Rn	6288,13(10)	²²⁶ Ra	4784,38(25)
	4374(4)	²⁴⁴ Cm	5804,82(5)	²¹⁶ Po	6778,3(5)		4601,7(2)
	4368(3)		5762,70(5)	²¹² Po	8785,08(12)	²²² Rn	5489,52(30)
²³⁰ Th	4687,7(15)	²⁴² Cm	6112,77(8)	²²⁷ Th	6038,06(15)	²¹⁸ Po	6002,40(9)
	4621,2(15)		6069,42(12)		5977,71(10)	²¹⁴ Po	7686,90(6)
²³⁴ U	4774,8(9)	²⁵³ Es	6632,57(5)		5756,96(10)		
	4722,6(9)		6591,4(5)	²²³ Ra	5747,2(4)		
²³⁹ Pu	5156,70(14)				5716,16(29)		
	5143,9(2)				5607,34(30)		
	5105,1(2)				5539,8(9)		

Opatrenia na obmedzenie ožiarovania z radónu

- Pri projektovaní nových stavieb s pobytovými priestormi a projektovaní rekonštrukcií stavieb s pobytovými priestormi navrhujú tak, aby nebola prekročená hodnota objemovej aktivity radónu **200 Bq.m⁻³** v priemere za rok.
- Smernou hodnotou na vykonanie opatrení na obmedzenie ožiarovania v existujúcich stavbách s pobytovými priestormi je objemová aktivita radónu **400 Bq.m⁻³** v priemere za rok.

Celková aktivita

- **Celková aktivita sa líši od sumárnej aktivity** tým, že pri meraní sa používa spoločná účinnosť detekcie pre všetky detekovateľné rádionuklidy.
- Etalón pre kalibráciu sa vyberá podľa meraného materiálu a je zvyčajne definovaný v norme.
- Pre alfa aktivitu sa zvyčajne používa kalibračný etalón amerícium ^{241}Am (^{239}Pu)
- Pre beta aktivitu účinnosť pre ^{90}Sr (^{36}Cl , ^{204}Tl , ^{40}K , ^{137}Cs , ^{60}Co).