

# Zdroje žiarenia $\alpha$

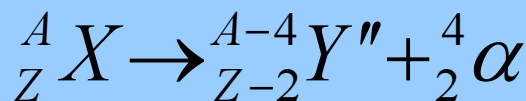
Charakteristika žiarenia  
Interakcia s látkou

1

## $\alpha$ žiarenie

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

Jadrová  $\alpha$ -premena prebieha podľa nasledovného vzťahu:

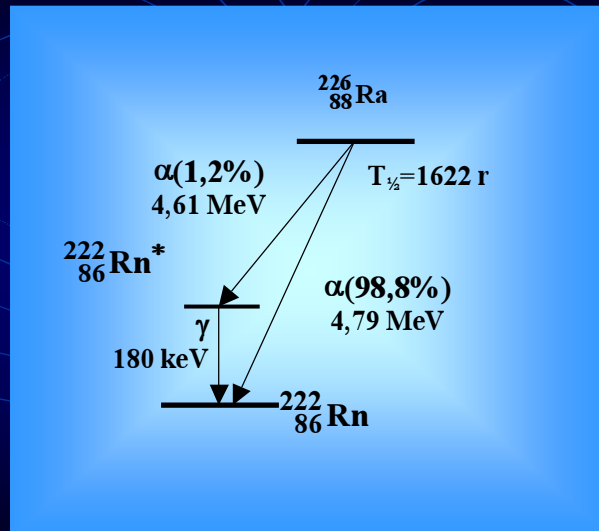


$A$  – hmotnostné číslo, udáva počet nukleónov v jadre

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

2

## $\alpha$ -premena



3

## $\alpha$ žiarenie

- Energetické spektrum emitovaných  $\alpha$  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  $\gamma$  žiarenie má spravidla nízku energiu.

4

## Urán ako $\alpha$ žiarič

	Alpha Emission Products:		Photon Emission Products:	
	Fraction	Energy(MeV)	Fraction	Energy(MeV)
<b>U-238</b>	0.230000	4.147000	0.000970	0.066376
	0.770000	4.196000	0.088313	0.013000
<b>U-235</b>	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

5

## Príklady zdrojov žiarenia $\alpha$

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

6

## Typické alfa spektrum plutónia

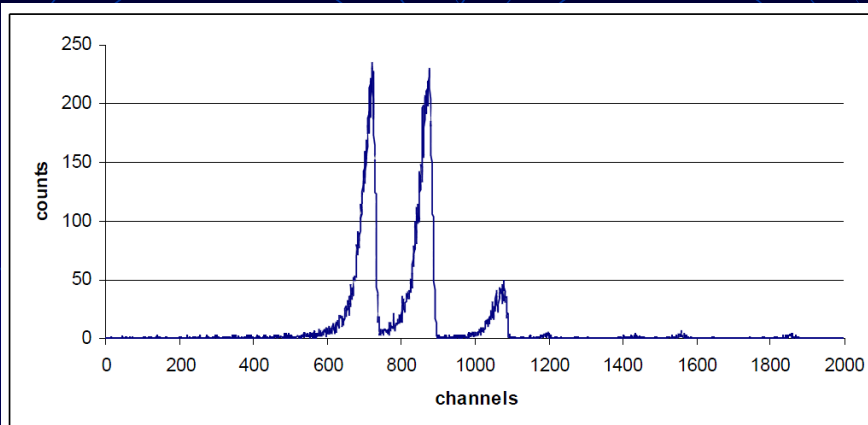


Fig. V-1. Typical plutonium alpha spectrum with  $^{242}\text{Pu}$  as yield tracer. Peaks in the spectrum from left to right are:  $^{242}\text{Pu}$ ,  $^{239,24}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$

7

## Radiačné parametre izotopov plutónia

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

8

## Typické alfa spektrum amerícia

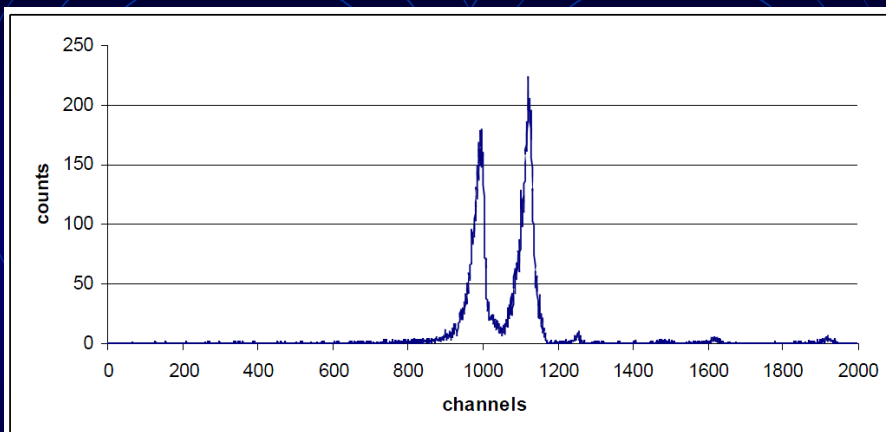


Fig. V-2. Typical americium alpha spectrum with  $^{243}\text{Am}$  as yield tracer. Peaks in the spectrum from left to right are:  $^{243}\text{Am}$ ,  $^{241}\text{Am}$

9

## Prechod $\alpha$ žiarenia látkou

- Jedná sa o ťažkú nabitú časticu, náboj  $+2e$ , ktorá pri má prechode látkou **veľké lineárne energetické straty**.
- Energie  $\alpha$  častíc rádioizotopových zdrojov sú do 10 MeV a pre také energie môžeme **zanedbať jadrové reakcie** kvôli malým hodnotám účinného prierezu.

10

## Prechod $\alpha$ žiarenia látkou

- Pri prechode -  $\alpha$  častíc cez hmotné prostredie dochádza k **pružnému rozptylu** na elektrónoch a jadrách atómov prostredia, pričom prakticky nedochádza k stratám energie. Pri interakcii s elektrónom  $\alpha$  častica mierne zmení smer. Väčší uhol rozptylu je možný pri interakcii s jadrom alebo pri viacnásobnom rozptyle s elektrónmi.
- 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.

11

## Prechod $\alpha$ 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)

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

12

## Vzťah pre stredné lineárne straty

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

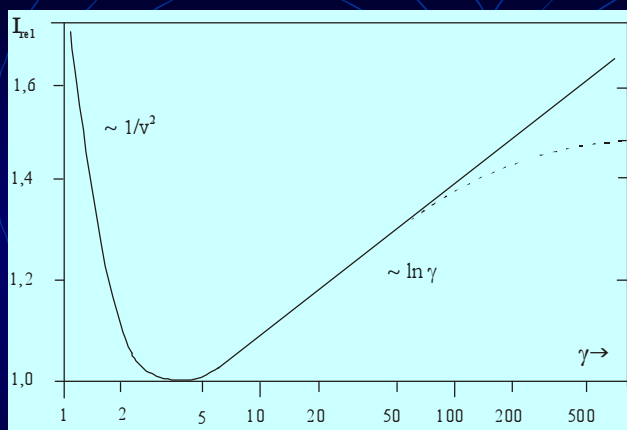
$$\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi \cdot z^2 e^4}{m_e v^2} nZ \left[ \ln \frac{2m_e v^2}{I(1-\beta)^2} - \beta^2 \right]$$

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
- $\beta$  je relativistická rýchlosť častice.

13

## 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 straty 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 $\alpha$

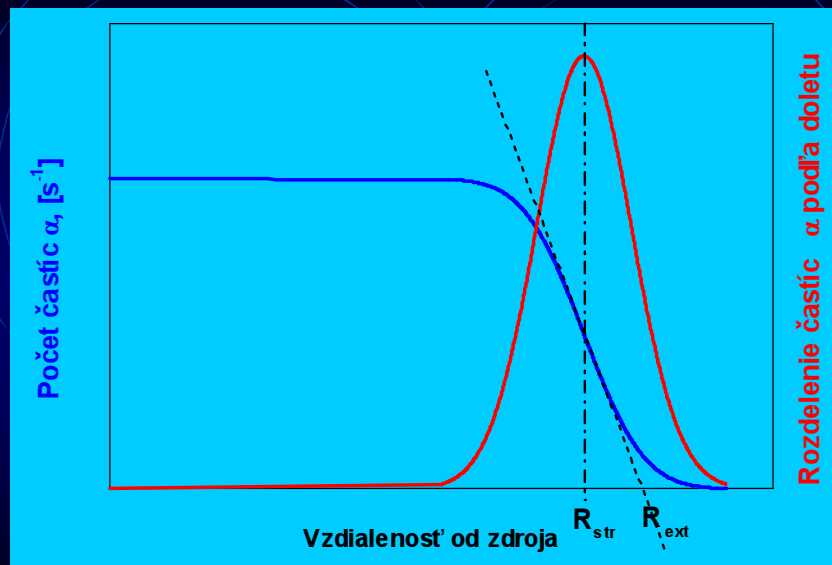


Stredné lineárne straty na ionizáciu a vzudzovanie sú nepriamo úmerné štvorcu rýchlosti častice.

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

15

## Dolet častíc $\alpha$ v látke



16



## Stredné lineárne straty energie

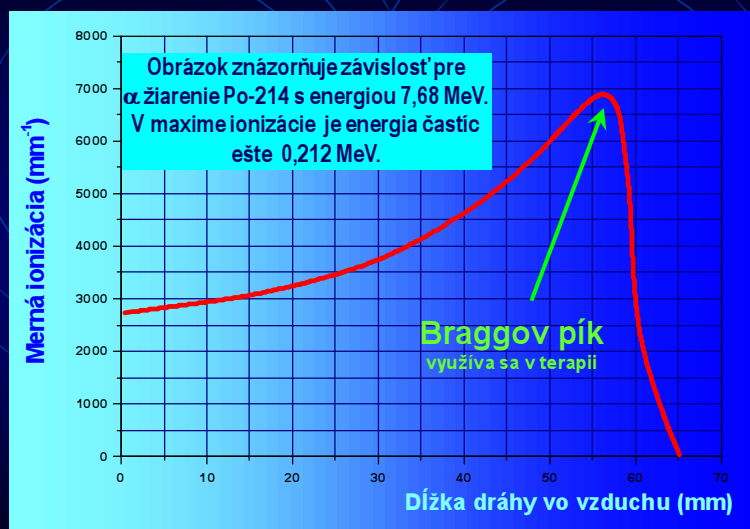
V zahraničnej literatúre sa pre stredné lineárne straty používajú veličiny:  $S$  - Stopping power (lineárna zrážková brzdná schopnosť) a  $LET$  - Linear Energy Transfer (lineárny prenos energie), ktoré sú definované podobne.

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:

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

17

## Intenzita ionizácie vzduchu $\alpha$ časticami



18

## Intenzita ionizácie vzduchu $\alpha$ 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

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

19

## Dosah (dolet) $\alpha$ častíc vo vzduchu

Dolet  $\alpha$  častíc o energiách 3 - 7 MeV vo vzduchu určíme približne zo vzťahu:

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

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

Presnosť týchto empirických vzťahov je 10%.

20

## Dosah $\alpha$ 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

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

21

## Dolet $\alpha$ častíc v rôznych materiáloch

$E_\alpha$ MeV	Vzduch [cm]	Biol. tkanivo [ $\mu m$ ]	Hliník [ $\mu m$ ]
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

22

## Ochrana pred $\alpha$ žiarením

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

23

## Detektory alfa žiarenia

- Na detekciu častíc  $\alpha$  je možné použiť veľa rozličných typov detektorov, napríklad:
  - 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, diódy s difúznym prechodom alebo PIPS (Passivated Implanted Planar Silicon).

24

## 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.

25

## 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**.

26

## 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

27

## VYHLÁŠKA MZ SR č. 528/2007 Z.z. o požiadavkách na obmedzenie ožiarenia 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  $^{226}\text{Ra}$  v stavebnom výrobku  $120 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ .
- Index hmotnostnej aktivity stavebných materiálov

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

28

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

29

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

- g) objemová aktivita  $^{40}\text{K}$ , 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  $^{40}\text{K}$  presiahne smernú hodnotu na vykonanie opatrení

Tabuľka č. 2  
Smerné hodnoty na vykonanie opatrení

Druh dodávanej vody	Celková objemová aktivita alfa [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Celková objemová aktivita beta [Bq.l <sup>-1</sup> ]	Objemová aktivita $^{222}\text{Rn}$ [Bq.l <sup>-1</sup> ]
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

30

## Najvyššie prípustné hodnoty obsahu rádionuklidov v dodávanej vode

Tabuľka č. 3

Najvyššie prípustné hodnoty obsahu rádionuklidov v dodávanej vode

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

31

## Kalibračné energie alfa (keV)

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



## Opatrenia na obmedzenie ožiarenia 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<sup>-3</sup>** v priemere za rok.
- Smernou hodnotou na vykonanie opatrení na obmedzenie ožiarenia v existujúcich stavbách s pobytovými priestormi je objemová aktivita radónu **400 Bq.m<sup>-3</sup>** v priemere za rok.

33

## 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 <sup>241</sup>Am (<sup>239</sup>Pu).
- Pre prírodnú alfa rádioaktivitu sa používa  $U_{nat}$ .
- Pre beta aktivitu účinnosť pre <sup>90</sup>Sr (<sup>36</sup>Cl, <sup>204</sup>Tl, <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs, <sup>60</sup>Co).
- Pre prírodnú beta rádioaktivitu sa používa <sup>40</sup>K.

34

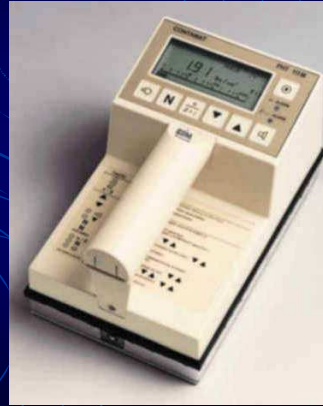
## Contamat FHT 111 M Meradlo povrchovej kontaminácie

Counter tubes for alpha, beta, gamma;  
100 or 166 cm<sup>2</sup> window area

Contamat with ten fixed nuclides per  
counter tube (standard)

**Xenon counter-tube with permanent  
gas filling:** C-14, P-32, S-35, Co-60, SR-  
90/Y-90, Tc-99m, I-123, I-125, I-131, Cs-  
137

**Butane flow-type counter tubes with  
refillable gas reservoir:** C-14, P-32, S-  
35, Co-60, Ni-63, Sr-90/Y-90, I-131, Cs-  
137, Tl-204, Am-241



35

## CANBERRA's Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS®)

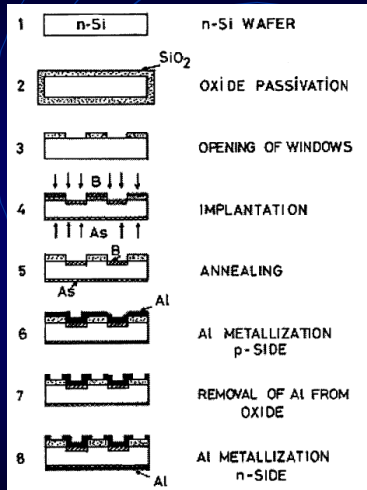
CANBERRA's Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS®) Detector is a product of modern semiconductor technology. In most applications, this detector replaces silicon surface barrier (SSB) detectors and diffused junction (DJ) detectors, both of which are still made the same way they were made in 1960.

The PIPS® advantages over SDB and DJ types:

- All junction edges are buried - no epoxy edge sealant is needed
- **Contacts are ion-implanted** to form precise, thin, abrupt junctions for good alpha resolution.
- Entrance window is stable and rugged.
- Leakage current is typically 1/8 to 1/100 of that of SSB and DJ detectors.
- Dead layer (window) thickness is less than that of comparable SDB or DJ detectors.

36

## Passivated with Ion implanted contact



Príklad prípravy:

Pasiváciou (teplotným oxidáciou) sa vytvorí p-n prechod v polovodiči typu n.

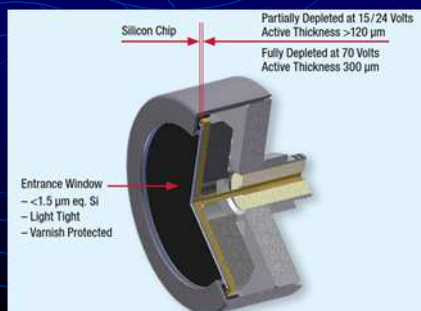
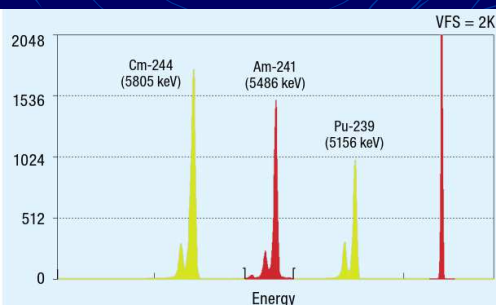
Implantáciou bóru a arzénu sa vytvoria kontakty, ktoré sa zafixujú popúšťaním.

Povrchový odpor kontaktov sa rieši metalizáciou (naparením hliníka) na obe strany a pripojením vodičov.

37

## CANBERRA's Passivated Implanted Planar Silicon (PIPS®)

The PIPS® Detector is fabricated by the planar process using photolithographic techniques for defining device geometries. Proprietary techniques are used to provide precise control of the **oxide passivation**, and **ion implantation** is used to form the accurately controlled junctions necessary for low reverse leakage currents and thin entrance windows. The photolithographic technique lends itself to virtually any geometry which fits onto a diameter of 140 mm.





iCAM - Intelligent Alpha/Beta Continuous Air Monitor



iSolo Alpha/Beta Counting System

## iSolo iCam




Spectrum in air for 450 mm<sup>2</sup> detector

CAM PIPS BV 450-AM

Betas 137 Cs      Alphas 241 Am

CL = -123.8 KEV from -71.7 KEV to 1303.9 KEV      PSET (L) 10000  
Counts 0      ELAP (L) 341

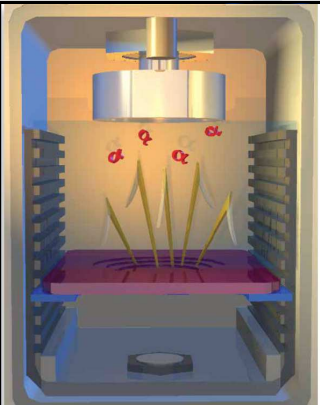




Table Top

## Alpha analyst spectrometer

### Features Alpha Spectrometer model 7401

- Stainless steel vacuum chamber
- Accommodates samples up to 50 mm (2 in.) diameter
- Supports the use of alpha detectors up to 1200 mm<sup>2</sup>
- Built-in counter/timer
- Integral vacuum gauge with vacuum/bias interlock
- Bias supply variable to 198 V dc, positive or negative
- Digital display of: Counter/Timer, Chamber Pressure, Detector Bias, Leakage Current, Pulser Energy, Discriminator Energy

### Alpha analyst performance

- Based on use of a 450-18AM PIPS detector with a good quality <sup>241</sup>Am point source.
- ENERGY RESOLUTION <18 keV (FWHM) with a detector-source spacing equal to the detector diameter.
- DETECTOR EFFICIENCY >25% for detector-source spacing of less than 1 mm.
- BACKGROUND <1 count/hr above 3 MeV.