

Izpit 2. junij 2011

Naloga 1: Izračunaj aktivnost 1 g rubidija!

^{87}Rb
 $m=1\text{ g}$
 $b=27.83\%$
 $M=85.47\text{ g}$
 $t_{1/2}=4.8 \cdot 10^{10}\text{ a}=4.8 \cdot 10^{10} \cdot \pi \cdot 10^7\text{ s}$

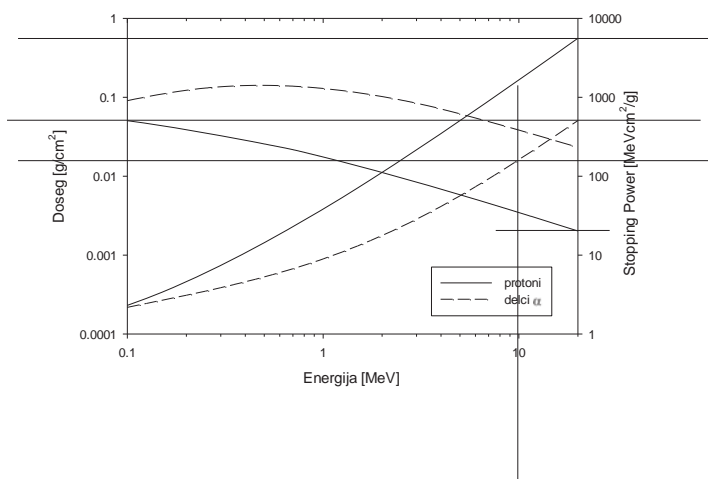
$$\frac{dN_{\text{Rb}}}{dt} = -\frac{N_{\text{Rb}}}{\tau}$$

$$A = \frac{N_{\text{Rb}}}{\tau}$$

$$N_{\text{Rb}} = b \frac{m}{M} N_A$$

$$A = \frac{b \cdot m \cdot N_A \cdot \ln 2}{M \cdot t_{1/2}} = 8.98 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

Stopping power in doseg protonov in delcev α v siliciju



2. Izračunaj efektivno dozo na človeka, ki eno leto živi v prostoru s specifično aktivnostjo radona 10000 Bq/m³. Masa pljuč je 3 kg in kapaciteta 2 l. Upoštevaj vse radonove potomce, ki se jih ne znebimo ob rednem zračenju.

izotop	E_α [MeV]	E_β [MeV]	$a = 10000 \text{ Bq/m}^3$
Rn-222	5.5		$V = 2 \text{ litra}$
Po-218	6.0		$m = 3 \text{ kg}$
Pb-214		0.7	$w_\alpha = 20$
Bi-214		1.5	$w_\beta = 1$
Po-214	7.7		$w_p = 0.12$
			$\sum E_\alpha = 19.2 \text{ MeV}$
			$\sum E_\beta = 2.2 \text{ MeV}$

$$H = w_p \frac{aVt}{m} (w_\alpha \sum E_\alpha + w_\beta \sum E_\beta) = 1.55 \text{ mSv}$$

To je približno dve tretjini povprečne letne doze na prebivalca.

2. Izračunaj efektivno dozo na človeka, ki eno leto živi v prostoru s specifično aktivnostjo radona 12000 Bq/m³. Masa pljuč je 3 kg in kapaciteta 2 l. Upoštevaj vse radonove potomce.

izotop	E_α [MeV]	E_β [MeV]	$a = 12000 \text{ Bq/m}^3$
Rn-222	5.5		$V = 2 \text{ litra}$
Po-218	6.0		$m = 3 \text{ kg}$
Pb-214		0.7	$w_\alpha = 20$
Bi-214		1.5	$w_\beta = 1$
Po-214	7.7		$w_p = 0.12$
			$\sum E_\alpha = 19.2 \text{ MeV}$
			$\sum E_\beta = 2.2 \text{ MeV}$

$$H = w_p \frac{aVt}{m} (w_\alpha \sum E_\alpha + w_\beta \sum E_\beta) = 1.86 \text{ mSv}$$

To je približno tri četrtine povprečne letne doze na prebivalca.

Naloga 2: Pri jedrski reakciji hkrati nastajajo protoni in delci α z energijo 20 MeV. Merimo jih s 150 μm debelim silicijevim detektorjem. Gostota silicija je 2.33 g/cm³. Ali bomo lahko v spektru ločili oba vrhova? Upoštevaj razmazanost energijskih izgub (straggling).

$$R_\alpha(20 \text{ MeV}) = 0.0510 \text{ g/cm}^2$$

$$d = 150 \mu\text{m}$$

$$d\rho = 3.50 \cdot 10^{-2} \text{ g/cm}^2$$

$$R_\alpha(d) = 0.0161 \text{ g/cm}^2$$

$$E_\alpha = 10 \text{ MeV} \Rightarrow \Delta E_\alpha = 10 \text{ MeV}$$

$$\frac{dE_p}{dx\rho} = 20.20 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2 / \text{g}$$

$$\Delta E_p = \frac{dE_p}{dx\rho} \cdot d\rho = 0.71 \text{ MeV}$$

$$f(x, E) \propto e^{-\frac{(E-\Delta E)^2}{2\sigma^2}}$$

$$\sigma^2 = Z_1 \cdot 0.1569 \cdot \rho \frac{Z_2}{A_2} d$$

$$Z_2 = 14, A_2 = 28$$

$$\sigma_p^2 = 2.74 \cdot 10^{-3} \text{ MeV}^2$$

$$\sigma_\alpha^2 = 4\sigma_p^2 = 1.10 \cdot 10^{-2} \text{ MeV}^2$$

$$\Delta E = 9 \text{ MeV} > \frac{3}{2}(\sigma_p + \sigma_\alpha) = 0.236 \text{ MeV}$$

OK.

Pisni izpit 8. 9. 2011

1. Izračunaj ploščino vrha na spodnji sliki in njeno negotovost! Oцени resolucijo (FWHM) detektorja!

$$N = 29$$

$$N_b = 18$$

$$N_p = N - N_b / 10 \cdot 5 \text{ kanalov}$$

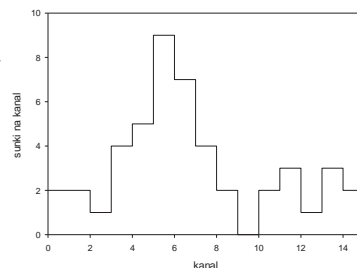
$$\sigma = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_b^2} / 4$$

$$\sigma = \sqrt{N + N_b} / 4 = 5.79$$

$$N_p = 20.0 \pm 5.8$$

$$\text{HM} = 5.4$$

$$\text{FWHM} = 2 \text{ kanala}$$



Pisni izpit 23. 1. 2012

1. Izračunaj pozicijo in ploščino vrha na spodnji sliki in njuno negotovost! Oцени resolucijo (FWHM) detektorja!

$$N = 31$$

$$N_b = 14$$

$$N_p = N - N_b / 10 \cdot 5 \text{ kanalov}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_N^2 + \sigma_b^2} / 4$$

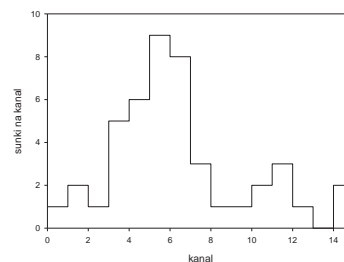
$$\sigma = \sqrt{N + N_b} / 4 = 5.87$$

$$N_p = 24.0 \pm 5.9$$

$$\text{HM} = 5.2$$

$$\text{FWHM} = 3 \text{ kanale}$$

$$\text{pozicija} = (5 \cdot 4 + 6 \cdot 5 + 9 \cdot 6 + 8 \cdot 7 + 3 \cdot 8) / N = 5.94$$



Izpit 21. januar 2010

Naloga 1: Izračunaj aktivnost 1 g naravnega torija!

^{232}Th
 $m=1\text{ g}$
 $t_{1/2}=1.4 \cdot 10^{10}\text{ a}=1.4 \cdot 10^{10} \cdot \pi \cdot 10^7\text{ s}$

$$\frac{dN_{\text{Th}}}{dt} = -\frac{N_{\text{Th}}}{\tau}$$

$$A = \frac{N_{\text{Th}}}{\tau}$$

$$N_{\text{Th}} = \frac{m}{M} N_A$$

$$M = 232 \text{ g}$$

$$A = \frac{m \cdot N_A \cdot \ln 2}{M \cdot t_{1/2}} = 4.08 \cdot 10^3 \text{ Bq}$$

Naloga 2: S protoni z energijo 3 MeV iz tandem van de Graafovega pospeševalnika obstreljujemo tarčo iz litija. Presek za reakcijo ${}^7\text{Li}(p,n){}^7\text{Be}$ je 345 mb, konstanten do praga pri 2 MeV, pri nižjih energijah protonskega žarka pa hitro pade na nič. Koliko reakcij bo nastalo, če na tarči izmerimo naboj 100 μAs ?

$$\sigma = 345 \text{ mb} = 345 \cdot 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$N_R = N_p \cdot N_t \cdot \frac{\sigma}{S}$$

$$N_p = Q / e$$

$$R_2(2\text{MeV}) = 9.088 \cdot 10^{-3} \text{ g / cm}^2$$

$$R_1(3\text{MeV}) = 1.798 \cdot 10^{-2} \text{ g / cm}^2$$

$$\rho x = R_1 - R_2 = 8.89 \cdot 10^{-3} \text{ g / cm}^2$$

$$N_t = \frac{m}{M} N_A = \frac{\rho V}{M} N_A = \frac{\rho S x}{M} N_A$$

$$N_R = \frac{Q}{e} \cdot \frac{\rho x N_A}{M} \sigma$$

$$N_R = \frac{10^{-4} \text{ As} \cdot 8.89 \cdot 10^{-3} \text{ g / cm}^2 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{1.6 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 7 \text{ g}} \cdot 345 \cdot 10^{-27} \text{ cm}^2$$

$$N_R = 1.64 \cdot 10^{11}$$

Izpit 21. januar 2010

Naloga 1: Izračunaj aktivnost 1 g naravnega urana!

${}^{238}\text{U}$

m=0.9927 g

$t_{1/2}=4.468 \cdot 10^9 \text{ a}=4.468 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot 10^7 \text{ s}$

${}^{235}\text{U}$

m=0.0072 g

$t_{1/2}=7.04 \cdot 10^8 \text{ a}$

${}^{234}\text{U}$

m=0.000054 g

$t_{1/2}=2.455 \cdot 10^5 \text{ a}$

$$\frac{dN_{Th}}{dt} = -\frac{N_{Th}}{\tau}$$

$$A = \frac{N_{Th}}{\tau}$$

$$N_{Th} = \frac{m}{M} N_A$$

$$A = \frac{m \cdot N_A \cdot \ln 2}{M \cdot t_{1/2}}$$

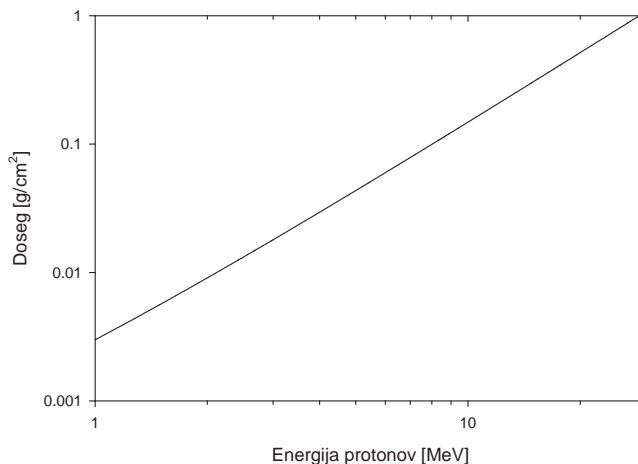
$$A_{238} = 1.236 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$A_{235} = 5.76 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

$$A_{234} = 1.244 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$A = 2.54 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

Doseg protonov v litiju



Naloga 2: S podatki iz prve naloge izračunaj starost Zemlje.

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\frac{N_{238}}{N_{235}} = \frac{e^{-\frac{t}{\tau_{238}}}}{e^{-\frac{t}{\tau_{235}}}} = e^{-t(1/\tau_{238} - 1/\tau_{235})}$$

$$t = -\frac{\ln(N_{238}/N_{235})}{\ln 2 \cdot (1/t_{1/2}(238) - 1/t_{1/2}(235))}$$

$$t = 5.94 \cdot 10^9 \text{ a}$$

Izpit 18. marec 2009

Naloga 1: Na podlagi spodnje kemijske analize izračunaj aktivnost 1 l mineralne vode!

Vsebnost v mg/l:

kalcij (Ca^{2+})	144
kalij (K^+)	600
magnezij (Mg^{2+})	66
natrij (Na^+)	14
hidrogen-karbonat (HCO_3^-)	410
sulfat (SO_4^{2-})	293
klorid (Cl^-)	8
fluorid (F^-)	1

$$A = \frac{N_{K40}}{\tau}$$

$$N = \frac{m}{M} N_A$$

$$N_{K40} = N \cdot b$$

$$M = 39.1 \text{ kg}$$

$$A = \frac{N_{K40} \ln 2}{t_{1/2}} = \frac{m \cdot N_A \cdot b \cdot \ln 2}{M \cdot t_{1/2}} = 19 \text{ Bq}$$

m=600 mg

b=0.012%=1.2 · 10⁻⁴

$t_{1/2}=1.3 \cdot 10^9 \text{ a}=1.3 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot 10^7 \text{ s}$

Naloga 2: Izračunaj efektivno dozo na pacienta pri rentgenskem slikanju kolena! Slikamo z 90 kV rentgenom s tokom 10^{10} žarkov na cm^2 površino velikosti 100 cm^2 , koleno pa je debelo 10 cm. Povprečna energija rentgenskega spektra je 1/3 maksimalne.

$$\mu_e / \rho = 1.07 \text{ cm}^2/\text{g}$$

$$\rho = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\mu_e = 1.07 \text{ cm}^{-1}$$

$$E = E_0(1 - e^{-\mu_e \cdot x}) = E_0$$

$$D = \frac{N \cdot E_0}{m} = \frac{N \cdot S \cdot E_0}{S \cdot m}$$

$$D = \frac{10^{10} \text{ cm}^{-2} \cdot 100 \text{ cm}^2 \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{80 \text{ kg}}$$

$$D = 60 \text{ } \mu\text{Gy}$$

$$H_E = 60 \text{ } \mu\text{Sv}$$

Izpit 28. januar 2009

Naloga 1: Izračunaj aktivnost 1 kg umetnega gnojila kalijev sulfat!

K_2SO_4

m=1 kg

b=0.012%=1.2 · 10⁻⁴

$t_{1/2}=1.3 \cdot 10^9 \text{ a}=1.3 \cdot 10^9 \cdot \pi \cdot 10^7 \text{ s}$

$$A = \frac{N_{K40}}{\tau}$$

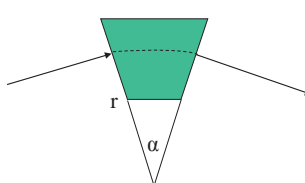
$$N = \frac{m}{M} N_A$$

$$N_{K40} = 2N \cdot b$$

$$M = (2 \cdot 39 + 32 + 4 \cdot 16) = 174 \text{ kg}$$

$$A = \frac{N_{K40} \ln 2}{t_{1/2}} = \frac{2m \cdot N_A \cdot b \cdot \ln 2}{M \cdot t_{1/2}} = 1.4 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

Naloga 2: Žarek ogljikovih ionov iz tandem van de Graafovega pospeševalnika s terminalno napetostjo 500 kV uklanjamo z 10 stopinjskim magnetom z gostoto polja 0.5 T. Kakšna naj bo ločljivost večične proporcionalne komore na izhodu magneta, da bomo lahko ločili ogljikova izotopa?



$$B = 0.5 \text{ T}$$

$$E = 1 \text{ MeV}$$

$$m_{12} = 12m$$

$$m_{13} = 13m$$

$$m = 931 \text{ MeV}$$

$$\frac{mv^2}{r} = evB$$

$$mv = erB$$

$$\sqrt{2mE} = erB$$

$$r = \frac{\sqrt{2mE}}{eB}$$

$$r_{12} = \frac{\sqrt{2m_{12}E}}{eB} = \frac{\sqrt{2m_{12}c^2E}}{ecB} = 0.997 \text{ m}$$

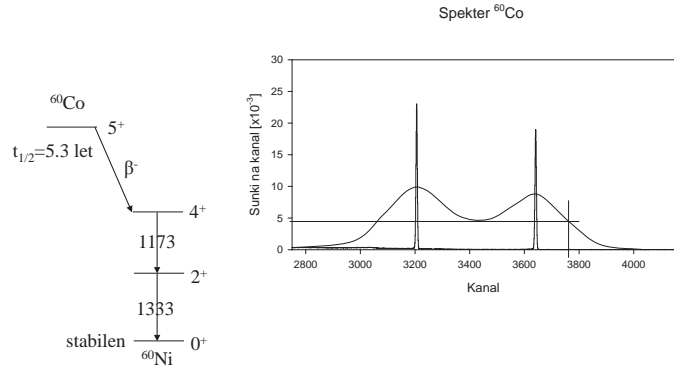
$$r_{13} = \sqrt{\frac{13}{12}} r_{12}$$

$$3\sigma = r_{13} - r_{12}$$

$$\sigma = \frac{1}{3} \left(\sqrt{\frac{13}{12}} - 1 \right) r_{12} = 1.4 \text{ cm}$$

Izpit 29. februar 2008

Naloga 1: Kateri detektor žarkov γ ima boljše resolucijo, germanijev ali scintilacijski? Izračunaj ju iz spodnjih spektrov Co-60!



kalibracija:
 1173 keV ~ kanal 3205
 1333 keV ~ kanal 3640
 $E = a \cdot \text{kanal} + b$
 $a = \frac{160 \text{ keV}}{435} = 3.6782 \cdot 10^{-1} \text{ keV}$
 $b = -5.85 \text{ keV}$

Ge detektor pri 1.3 MeV:
 FWHM = 8 kanalov
 FWHM = 2.35 σ
 $\sigma = 3.4 \text{ kanala} = 1.25 \text{ keV}$
 $R = \frac{\sigma}{E} = \frac{1.25}{1333} = 0.094\%$

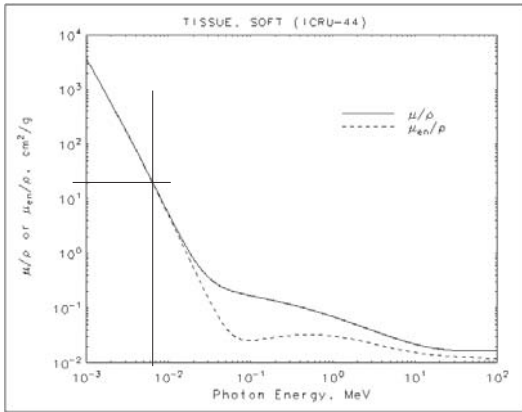
Scintilator pri 1.3 MeV:
 FWHM = 240 kanalov
 FWHM = 2.35 σ
 $\sigma = 102 \text{ kanala} = 37.56 \text{ keV}$
 $R = \frac{\sigma}{E} = \frac{37.56}{1333} = 2.82\%$

Naloga 2: Izračunaj povprečno energijo sevanja iz 20 kV rentgenske cevi. Absorpcijo v cevi zanemari. Ali je taka cev primerna za slikanje glave?

$$\frac{dj}{dE} = k(E_0 - E)$$

$$\langle E \rangle = \frac{\int_0^{E_0} (E_0 - E)E \cdot dE}{\int_0^{E_0} (E_0 - E) \cdot dE}$$

$$\langle E \rangle = \frac{E_0}{3} = 6.7 \text{ keV}$$

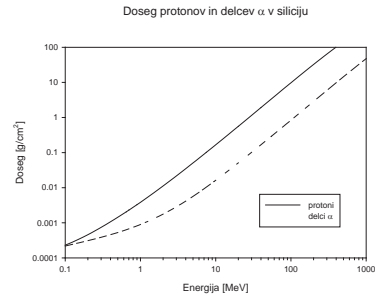


$\mu / \rho = 20 \text{ cm}^2/\text{g}$
 $I = I_0 e^{-\mu x}$
 $x = 20 \text{ cm} \Rightarrow \mu x = 400$
 $\frac{I}{I_0} = 2 \cdot 10^{-174} \Rightarrow$ cev ni primerna, ker žarki ne pridejo skozi glavo

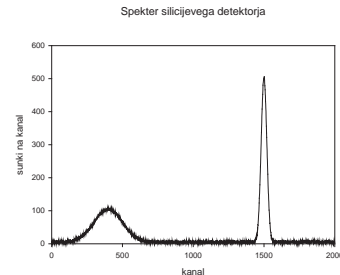
Izpit 28. januar 2008

Naloga 1: Protoni in delci α energije 10 MeV padajo pravokotno na 300 μm debel silicijev detektor, s katerim izmerimo spodnji spekter. Izračunaj resolucijo detektorja! Gostota silicija je 2.33 g/cm^3 .

-doseg $x_\alpha(10 \text{ MeV}) = 70 \mu\text{m}$
 v detektorju pusti vso energijo
 -doseg $x_p(10 \text{ MeV}) = 715 \mu\text{m}$
 -po preletu 300 μm , ima dovolj energije še za prelet 315 μm , $x_p = 0.073 \text{ g}/\text{cm}^2$
 kar ustreza dosegu protonov z energijo 6.2 MeV
 $-E = E_0 - E_1 = 3.8 \text{ MeV}$



FWHM = 57 kanalov
 FWHM = 2.35 σ
 $\sigma = 20 \text{ kanalov}$
 $E = a \cdot \text{kanal} + b$
 $a = \frac{6.2 \text{ MeV}}{1100} = 5.636 \cdot 10^{-3} \text{ MeV}$
 $b = 1.55 \text{ MeV}$
 $\sigma = 1.127 \cdot 10^{-1} \text{ MeV}$
 $R = \frac{\sigma}{E} = 1.127\%$



Naloga 2: Na ruskem ciklotronu so delavca po nesreči 5 minut obstreljevali v glavo s curkom protonov z energijo 200 MeV in intenziteto 100 nA. Ali je človek preživel?

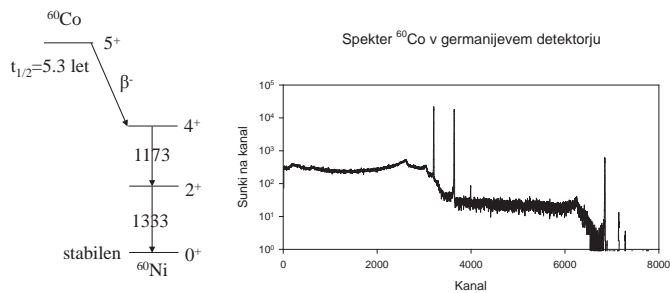
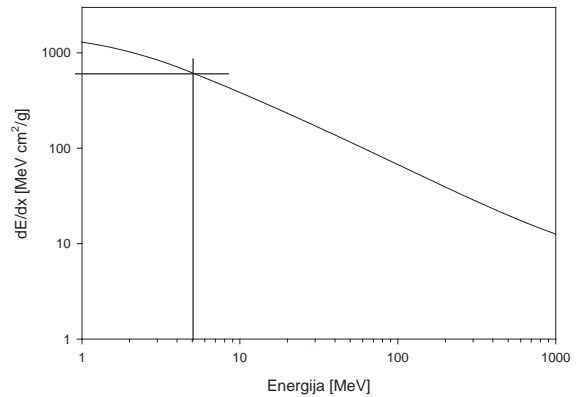
-doseg $x_p(200 \text{ MeV}) = 26 \text{ cm}$
 -po preletu 10 cm, ima dovolj energije še za prelet 16 cm, $x_p = 16 \text{ g}/\text{cm}^2$
 kar ustreza dosegu protonov z energijo 150 MeV
 $-E = E_0 - E_1 = 50 \text{ MeV}$

$$D = \frac{N \cdot E}{m} = \frac{I \cdot t \cdot E}{m \cdot e} = \frac{10^{-7} \text{ A} \cdot 5 \cdot 60 \text{ s} \cdot 50 \cdot 10^6 \text{ J}}{80 \text{ kg} \cdot \text{As}}$$

$$D = 19 \text{ Gy}$$

Ni preživel!

Stopping power za delce α v siliciju



Naloga: Pojasni obliko zgornjega spektra iz večkanalnega analizatorja. Pomagaj si z razpadno shemo ^{60}Co na levi in kalibriraj spekter.

$E = a \cdot \text{ch} + b$
 $a = 0.366 \text{ keV}$
 $b = 0.16 \text{ keV}$

Naloga: Izračunaj izkoristek za detekcijo v fotovrhu pri 1 MeV za germanijev detektor iz prejšnjih strani.

$$\varepsilon = \frac{\Omega}{4\pi} \cdot P$$

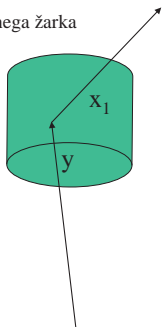
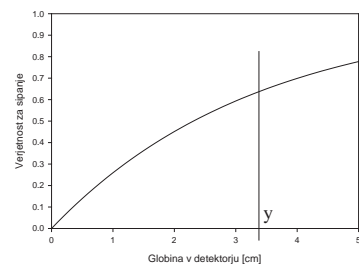
Pr ostorski kot: $\frac{\pi b^2}{4\pi r^2}$

$P = (1 - e^{-\mu x}) \cdot P_1$
 $\mu = \sigma N_A \rho / A$
 $\sigma = 6.9 \text{ b}$
 $\mu = 0.30 \text{ cm}^{-1}$
 $P = 0.78 \cdot P_1$

P_1 - verjetnost za absorpcijo Comptonovo sipanega žarka

$$P_1 = 1 - e^{-\mu(E_c) x_1}$$

Pri kateri globini y v detektorju se v povprečju zgodi Comptonovo sipanje?



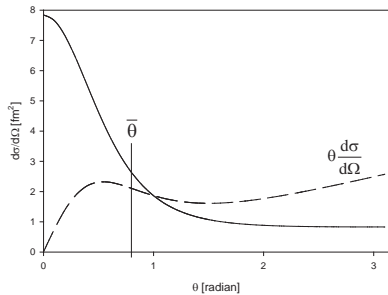
$$\bar{y} = \frac{\int_0^x (1 - e^{-\mu y}) y \cdot dy}{\int_0^x (1 - e^{-\mu y}) dy}$$

$$\bar{y} = 3.3 \text{ cm}$$

Pod katerim kotom se v povprečju Comptonovo siplje žarek γ ?

Klein – Nishina formula:
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} \frac{1}{(1 + \gamma(1 - \cos\theta))^2} \left(1 + \cos^2\theta + \frac{\gamma^2(1 - \cos\theta)^2}{1 + \gamma(1 - \cos\theta)} \right)$$

$\gamma = hv / m_e c^2 = 1.96$ klasični radij elektrona: $r_e = 2.8 \text{ fm}$



$\bar{\theta} \approx 0.8 = 45^\circ$

θ	$d\sigma/d\Omega$	$\theta \, d\sigma/d\Omega$
0.0000	7.8400	0.0000
0.3000	6.3626	1.9088
0.6000	3.8473	2.3084
0.9000	2.1998	1.9798
1.2000	1.4139	1.6966
1.5000	1.0740	1.6109
1.8000	0.9298	1.6737
2.1000	0.8689	1.8247
2.4000	0.8435	2.0245
2.7000	0.8334	2.2502
3.0000	0.8300	2.4900
vsota	27	20

Kakšna je energija E_c po sipanju pod povprečnim kotom?

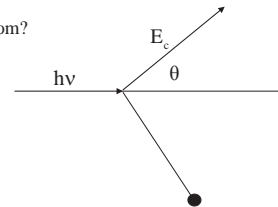
$$E_c = \frac{hv}{1 + \gamma(1 - \cos\theta)} = 0.64 \text{ MeV}$$

$\sigma(E_c) = 9.0 \text{ b} \Rightarrow \mu = 0.39 \text{ cm}^{-1}$

$x_i = (x - \bar{y})\sqrt{2} = 2.36 \text{ cm}$

$P_i = 0.40 \Rightarrow P = 0.31$

$\varepsilon = 4.9 \cdot 10^{-5}$



Naloga: V spektru vira ^{60}Co v germanijevem detektorju je pri energiji 1.33 MeV 10^4 sunkov, v ozadju pa je 50 sunkov. Izračunaj aktivnost vira in njeno negotovost! Izkoristek iz prejšnje naloge je natančen na 10%. Čas meritve je 1 ura.

$N_f = A \cdot t \cdot \varepsilon$ $A = \frac{N_f}{t \cdot \varepsilon} = 5.6 \cdot 10^4 \text{ Bq} = 1.5 \text{ } \mu\text{Ci}$

$N_f = N - N_o$ $\sigma_A^2 = \left(\frac{dA}{dN_f}\right)^2 \sigma_f^2 + \left(\frac{dA}{d\varepsilon}\right)^2 \sigma_\varepsilon^2$

$\sigma_f = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_o^2} = \sqrt{N + N_o}$ $\sigma_A^2 = \frac{\sigma_f^2}{t^2 \varepsilon^2} + \frac{N_f^2 \sigma_\varepsilon^2}{t^2 \varepsilon^4} = 3.2 \cdot 10^7 \text{ Bq}^2$

$A = (5.6 \pm 0.57) 10^4 \text{ Bq}$

3. Vsaj kakšna naj bo resolucija detektorja žarkov γ , da bomo v spektru lahko ločili vrhova radioaktivnega vira ^{60}Co ? Pomagaj si s shemo razpada vira ^{60}Co na desni.

$R = \frac{\sigma}{E}$ $R < 4.3\%$

$3\sigma < E_2 - E_1$

$R < \frac{2 E_2 - E_1}{3 E_2 + E_1}$

4. Z germanijevim detektorjem opazujemo jedrsko reakcijo, pri kateri nastane ^{16}O . Pojasni tri najvišje vrhove v spodnjem spektru in naredi linearno energijsko kalibracijo. Pomagaj si z nivojsko shemo ^{16}O .

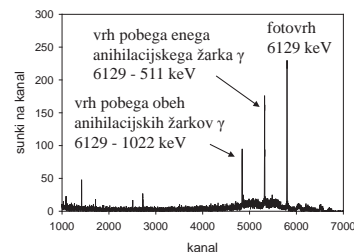
6129 keV \square ch 5799

5107 keV \square ch 4843

$E = a \cdot \text{ch} + b$

$a = 1.069 \text{ keV}$

$b = -70.4 \text{ keV}$



Pisni izpit iz fizikalnih merjenj 2

15. 1. 2007

1. Koliko gramov ^{210}Po ubije 80 kg teškega človeka? ^{210}Po razpada z razpadom α z energijo 5.3 MeV, razvejitenim razmerjem 1 in razpolovnim časom 138 dni. Upoštevaj, da se 90% polonija hitro izloči, ostalo pa ostane v telesu.

$H_E = 4 \text{ Sv}$

$$E = \frac{H_E \cdot m}{w_r}$$

$H_E = w_r \cdot D = w_r \cdot \frac{E}{m}$

$w_r = 20$

$$m_{Po} = \frac{10 \cdot M_{Po} \cdot H_E \cdot m}{w_r \cdot N_A \cdot E_\alpha} = 6.6 \cdot 10^{-8} \text{ g}$$

$$E = N \cdot E_\alpha \cdot b = \frac{m_{Po}}{10 \cdot M_{Po}} \cdot N_A \cdot E_\alpha \cdot b$$

2. Kakšna je aktivnost enega grama ^{226}Ra ? ^{226}Ra razpada z razpadom α z energijo 4.8 MeV, razvejitenim razmerjem 0.94 in razpolovnim časom 1600 let.

$N = N_0 e^{-t/\tau}$

$$\frac{dN}{dt} = -\frac{N_0}{\tau} e^{-t/\tau} = \frac{N}{\tau} = \frac{m_{Ra} \cdot N_A \cdot \ln 2}{M_{Ra} \cdot t_{1/2}} = 3.65 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Pisni izpit iz fizikalnih merjenj 2

20. 2. 2007

1. Vsaj kakšna naj bo resolucija detektorja žarkov γ , da bomo v spektru lahko ločili enako število razpadov radioaktivnih virov ^{60}Co in ^{40}K ? Pomagaj si z razpadnima shemama.

$E_1 = 1333 \text{ keV}$ $R = \frac{\sigma}{E}$ $R < 3.1\%$

$E_2 = 1461 \text{ keV}$ $3\sigma < E_2 - E_1$

$R < \frac{2 E_2 - E_1}{3 E_2 + E_1}$

2. Z germanijevim detektorjem merimo kontaminacijo velike ravne površine 1 meter nad tlemi. Kolikšna je hitrost štetja v vrhu popolne absorpcije, če je površina enakomerno kontaminirana z radioaktivnim ^{137}Cs s specifično aktivnostjo 10 kBq/m². ^{137}Cs seva žarke γ z energijo 662 keV in razvejitenim razmerjem 0.85. Detektor ima obliko krogle s premerom 5 cm in izkoristek za detekcijo v fotovrhu 3%. Pomagaj si z grafom za presek za sipanje fotonov v zraku in upoštevaj, da je:

$$\int_x^{\infty} \frac{e^{-t}}{t} dt = -\ln x - 0.57722 + 0.99999x$$

 $\mu = 4.6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$

$\mu = \sigma N_A \rho / A$

$\sigma = 10^{14.4/43} \text{ b} = 1.84 \text{ b}$ iz grafa

$A = 0.8 \cdot 28 + 0.2 \cdot 32 = 28.8 \text{ kg}$

$\rho V = \frac{m}{A} RT$

$\rho = \frac{pA}{RT} = \frac{10^5 \text{ N/m}^2 \cdot 28.8 \text{ kg}}{8300 \text{ J/K} \cdot 300 \text{ K}} = 1.2 \text{ kg/m}^3$

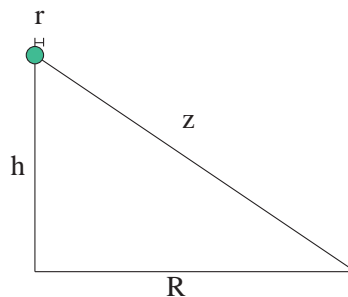
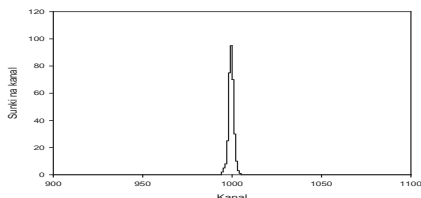
Pisni izpit iz fizikalnih merjenj 2

23. 1. 2004

1. Na razpolago imaš valjast in ploščat kondenzator napoljen s plinom. Katerega bi uporabil za ionizacijsko celico in katerega za proporcionalni števec? Pojasni izbiro!

Rešitev: Za ionizacijsko celico sta primerni obe geometriji, za proporcionalni števec pa le valjasta, ker bi ploščat kondenzator zahteval preveliko napetost za tvorbo plaza sekundarnih elektronov in bi prebijal.

2. S silicijevim detektorjem debeline 200 μm merimo delce α iz vira ^{210}Po , ki vpadajo pravokotno na detektor. Mrtva plast detektorja je debela 2 μm . V spodnjem spektru iz večkanalnega analizatorja je kalibracija $E=5.056 \text{ keV} \cdot \text{kanal}$. Gostota Si je 2.33 g/cm³. Kakšna je energija delcev α pri razpadu ^{210}Po ? Oцени resolucijo detektorja!



$$n = \eta \int \frac{\pi r^2 b \cdot a_s e^{-\mu z}}{4\pi z^2} dS$$

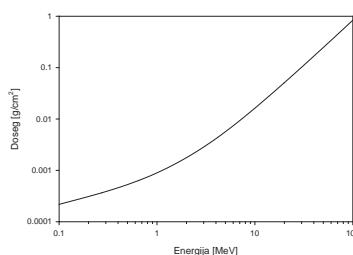
$$n = \frac{\eta \pi r^2 b a_s}{2} \int_0^\infty \frac{e^{-\mu \sqrt{h^2 + R^2}}}{h^2 + R^2} R \cdot dR$$

$$x = \mu \sqrt{h^2 + R^2}$$

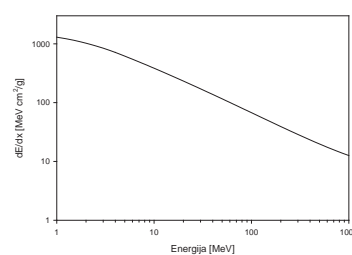
$$n = \frac{\eta \pi r^2 b a_s}{2} \int_{\mu h}^\infty \frac{e^{-x}}{\mu h} dx$$

$$n = \frac{0.03 \pi 0.025^2 \text{ m}^2 0.85 \cdot 10^4}{2 \text{ m}^2 \text{ s}} 4.81 = 1.20 \text{ s}^{-1}$$

Doseg delcev α v siliciju



Stopping power za delce α v siliciju



Rešitev: Obstajata dve rešitvi, dovolj je, da napišete eno.

kanal = 1000 $\Rightarrow E_1 = 5.056 \text{ MeV}$

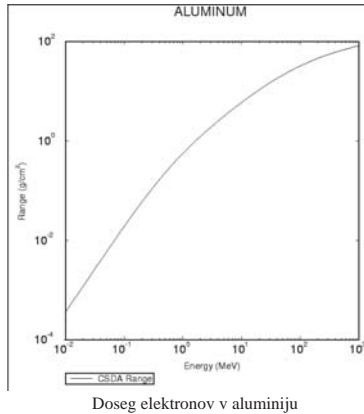
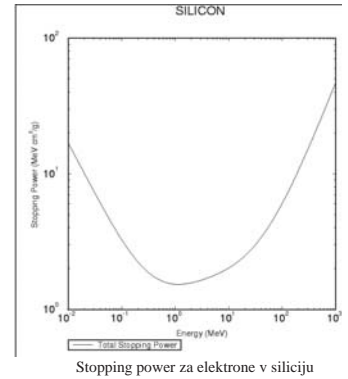
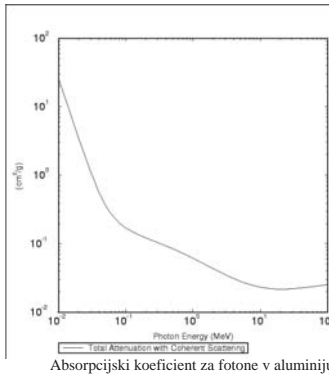
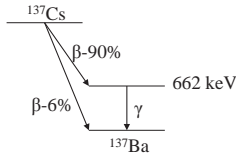
$\frac{dE}{dx} = 610 \text{ MeV cm}^2 / \text{g}$

$E_0 = E_1 + \rho \frac{dE}{dx} \Delta x = 5.340 \text{ MeV}$

Resolucija:
FWHM = 3 kanale = 15 keV

Druga rešitev:
preberemo iz grafa za doseg:
 $E_0 = 58 \text{ MeV}$

3. Izotop ^{137}Cs razpada v ^{137}Ba , pri čemer seva žarke β in γ . V $(6\pm 1)\%$ primerov razpada naravnost v osnovno stanje ^{137}Ba , pri čemer nastane delec β z maksimalno energijo 1.2 MeV, v $(90\pm 1)\%$ primerov pa v prvo vzbujeno stanje ^{137}Ba , pri čemer nastane žarka β in γ , ki ima energijo 662 keV. Poleg teh delcev nastanejo tudi nevtrini, ki pa jih ne zaznamo. Aktivnost vira ^{137}Cs merimo z 1mm debelim silicijevim detektorjem, ki je skupaj z virom zaprt v vakuumski komori iz 3 mm debelega aluminija. Aktivni del detektorja pokriva 10% prostorskega kota. Poleg silicijevega imamo še germanijev detektor zunaj komore. Totalni izkoristek tega detektorja je 15% pri 662 keV. V silicijevem detektorju v sekundi naštejemo 9000, v germanijevem pa 9500 sunkov. Izračunaj aktivnost vira in negotovost meritve! Gostota silicija je 2.33 g/cm^3 , aluminija pa 2.7 g/cm^3 . Doseg elektronov z energijo 1.2 MeV je 2.5 mm v aluminiju. Absorpcijo fotonov v aluminiju zanemari!



$$b_1 = 0.06 \pm 0.01$$

$$b_2 = 0.90 \pm 0.01$$

$$b = b_1 + b_2 = 0.96 \pm 0.014$$

$$\dot{N} = A \cdot b \cdot \eta$$

$$A = \frac{\dot{N}}{b \cdot \eta} = 9.375 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$\sigma_A^2 = \frac{\sigma_{\dot{N}}^2}{b^2 \cdot \eta^2} + \frac{\dot{N}^2 \cdot \sigma_b^2}{b^4 \cdot \eta^2} = 2.8 \cdot 10^6 \text{ Bq}^2$$

$$A_2 = \frac{\dot{N}_2}{b_2 \cdot \eta_2} = 7.037 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$\sigma_{A_2}^2 = \frac{\sigma_{\dot{N}_2}^2}{b_2^2 \cdot \eta_2^2} + \frac{\dot{N}_2^2 \cdot \sigma_{b_2}^2}{b_2^4 \cdot \eta_2^2} = 1.1 \cdot 10^6 \text{ Bq}^2$$

$$A_k = \frac{\sigma_{A_2}^2 A + \sigma_A^2 A_2}{\sigma_{A_2}^2 + \sigma_A^2} = 7.70 \cdot 10^4 \text{ Bq}$$

$$\sigma_k = \frac{1}{\sqrt{\sigma_{A_2}^2 + \sigma_A^2}} = 9.0 \cdot 10^2 \text{ Bq}$$

Pisni izpit iz fizikalnih merjenj 2

11. 3. 2004

1. Izračunaj kapaciteto valjastega proporcionalnega števca in njeno negotovost! Števec je dolg 10 cm, debel 2 cm in ima visokonapetostno žico debelo 20 μm . Napolnjen je s plinom z dielektrično konstanto $\epsilon=1.0$. Vse razdalje poznaš na 1% natančno.

$$L = 10 \pm 0.1 \text{ cm}$$

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 L}{\ln(b/a)}$$

$$b = 1 \pm 0.01 \text{ cm}$$

$$a = 10 \pm 0.1 \text{ mm}$$

$$\sigma_C^2 = \left(\frac{\partial C}{\partial L}\right)^2 \sigma_L^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial b}\right)^2 \sigma_b^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial a}\right)^2 \sigma_a^2$$

$$C = (0.809 \pm 0.0083) \text{ pF}$$

$$\sigma_C^2 = \left(\frac{2\pi\epsilon\epsilon_0}{\ln(b/a)}\right)^2 \left(\sigma_L^2 + \left(\frac{L\sigma_b}{b \cdot \ln(b/a)}\right)^2 + \left(\frac{L\sigma_a}{a \cdot \ln(b/a)}\right)^2\right)$$

2. Z dvema silicijevima detektorjema 8 ur merimo aktivnost vira ^{209}Pb , ki razpada z razpadom β^- in razpolovnim časom 3.3 ± 0.3 ure. Vsak detektor pokriva 10% prostorskega kota. V prvem preštejemo 10000 sunkov, v drugem pa 11000 sunkov. Izračunaj začetno aktivnost in njeno negotovost!

$$t = 8 \text{ ur}$$

$$t_{1/2} = 3.3 \pm 0.3 \text{ ure}$$

$$\eta = 0.1$$

$$N_1 = 10000$$

$$N_2 = 11000$$

$$A(t) = A_0 e^{-t/\tau}$$

$$N = \int_0^t A \cdot \eta \cdot dt$$

$$A_0 = \frac{N}{\eta\tau(1 - e^{-t/\tau})}$$

$$\sigma_{A_0}^2 = \left(\frac{\partial A_0}{\partial N}\right)^2 \sigma_N^2 + \left(\frac{\partial A_0}{\partial \tau}\right)^2 \sigma_\tau^2$$

$$\frac{\partial A_0}{\partial N} = \frac{A_0}{N}$$

$$\frac{\partial A_0}{\partial \tau} = -\frac{N}{\eta\tau^2(1 - e^{-t/\tau})} \left(1 - \frac{t}{\tau} \frac{e^{-t/\tau}}{(1 - e^{-t/\tau})^2}\right)$$

$$\sigma_{A_0}^2 = \frac{A_0^2 \sigma_N^2}{N^2} + \frac{A_0^2 \sigma_\tau^2}{\tau^2} \left(1 - \frac{t}{\tau} \frac{e^{-t/\tau}}{(1 - e^{-t/\tau})^2}\right)^2$$

$$N = \frac{\sigma_{N_1}^2 N_2 + \sigma_{N_2}^2 N_1}{\sigma_{N_1}^2 + \sigma_{N_2}^2} = \frac{2N_2 N_1}{N_1 + N_2} = 10476$$

$$\sigma_N = \left(\sqrt{\sigma_{N_1}^2 + \sigma_{N_2}^2}\right)^{-1} = \left(\sqrt{N_1^{-1} + N_2^{-1}}\right)^{-1} = 72$$

$$\tau = \frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 4.76 \text{ ur}$$

$$\sigma_\tau = 0.43 \text{ ur}$$

$$A_0 = 7.53 \text{ Bq}$$

$$\sigma_{A_0} = 0.36 \text{ Bq}$$

3. Vir ^{252}Cf z aktivnostjo 10 GBq razpada s spontano fisijo in pri vsakem razpadu nastane dva teška iona z energijo 20 MeV in trije nevtroni. Vir je zaprt v 3 mm debelem aluminijastem ohišju. Izračunaj efektivno ekvivalentno dozo na človeka, ki se 8 ur zadržuje 5 metrov od vira in oceni, ali je taka situacija smrtno nevarna! Predpostavi, da je človek kvader iz vode, visok 1.5 m in širok 0.5 m, ki tehta 75 kg in gleda proti viru sevanja. Siplalni presek za sipanje nevtronov na protonih je 0.3 b, sipanje na kisiku pa je zanemarljivo. Pri vsakem trku nevtronu protonu odda 1 MeV. (10 točk)

$$x = 10 \text{ cm}$$

$$\sigma = 0.3 \text{ b}$$

$$A = \frac{18}{2} \text{ kg/kmol} = 9 \text{ kg/kmol}$$

$$N_A = 6 \cdot 10^{26} \text{ kmol}^{-1}$$

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

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

$$\mu = \sigma \frac{N_A \rho}{A} = 2.0 \text{ m}^{-1}$$

$$N_{\text{abs}} = N_0 - N = 0.18 \cdot N_0$$

$$N_0 = 3A_0 t \frac{h \cdot d}{4\pi r^2} = 2.1 \cdot 10^{12}$$

$$N_{\text{abs}} = 3.7 \cdot 10^{11}$$

$$D = \frac{N_{\text{abs}} E}{m} = \frac{3.7 \cdot 10^{11} \cdot 10^6 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{75 \text{ kg}} = 0.79 \text{ mGy}$$

$$H_E = w_R D = 20 \cdot D = 16 \text{ mSv}$$