

Tutkintotodistuksen saamisen perusedellytyksenä on vastaaminen kaikkiin kysymyksiin sekä vähintään puolet maksimipistemäärästä. Pelkän kurssin läpäisyn vaatimukset ovat lievemmät (esim. vastattujen tehtävien lukumäärä).

1. a) Säteilysuojeluohjeen ST 1.6. otsake on "Säteilysuojelutoimet työpaikalla". Ohjeessa on kappaleiden "Yleistä" ja "Määritelmiä ja käsitteitä" lisäksi kahdeksan alakohtaa joissa annetaan tarkemmat vaatimukset tarpeellisista suojelutoimista, työpaikkojen ja työntekijöiden luokittelusta jne. Luettele aiheet mitä alakohdissa käsitellään. b) Mitkä ovat säteilytyöntekijöiden annosrajat ja mitä tarkoittaa "säteilytyöntekijä"?
2. Suomalaisten keskimääräisestä vuosittaisesta säteilyannoksesta suurin osa aiheutuu radonista. Selvitä seuraavat radoniin liittyvät seikat (lyhyt luettelomainen tai määritelmänluonteinen vastaus riittää):
  - (a) Mitä tarkoitetaan "radonsäteilyllä" ja miten se aiheuttaa säteilyannosta?
  - (b) Miten rakennusten radonpitoisuuksia voidaan mitata ja miten radonin aiheuttamia ongelmia voidaan vähentää?
  - (c) Mikä on radonin aiheuttama keskimääräinen vuosiannos, mitä suuruusluokkaa ovat pitoisuusrajat ja montako syöpätapausta Suomessa radonin arvioidaan aiheuttavan?
3. Vastaa lyhyesti seuraaviin kysymyksiin:
  - (a) Miten ja missä ydinvoimalaitoksessa syntyy radioaktiivisia aineita (2p)?
  - (b) Miten Loviisan ydinvoimalaitoksen ydinjätehuolto toteutetaan (2p.)
  - (c) Mitä tarkoittaa syvyysuuntainen puolustus, rinnakkaisuus, erilaisuus ja erottelu ydinturvallisuudessa.
4. 10,4 cm:n paksuiseen lyijysuojaan suljettu 12 g:n painoinen 400 GBq:n  $^{60}\text{Co}$ -lähde sijaitsee lukitussa kaapissa. Saako säteilytyössä oleva henkilö työskennellä vakituisesti (=2000 tuntia vuodessa) kaapin ulkopuolella 2 metrin päässä lähteestä? Perustele vastauksesi. Kommentoi työskentelyä tällä etäisyydellä.

(Hajotessaan  $^{60}\text{Co}$  lähettää kaksi gammaa energioiltaan 1,33 MeV ja 1,17 MeV, joiden keskimääräinen massavaimennuskerroin lyijyssä on 0,0595  $\text{cm}^2/\text{g}$ . Lyijyn tiheys on 11,35  $\text{g}/\text{cm}^3$  ja atomipaino 207,2.)
5. VTT:n Triga Mark II -reaktorin säteilytysrenkaan terminen vuo on  $1,2 \times 10^{12}$  n/ $\text{cm}^2/\text{s}$ . Tarvitset 300 kBq:n  $^{24}\text{Na}$ -lähteen. Tätä varten otat 0,2 mg puhdasta ei-jodipitoista pöytäsuolaa ( $^{23}\text{Na}^{35,453}\text{Cl}$ ) ja säteilytät sitä reaktorissa. Kuinka kauan?  $^{24}\text{Na}$ :n puoliintumisaika on 15 tuntia ja reaktion  $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$  keskimääräinen terminen vaikutusala on 0,53 b.

## ERÄITÄ VAKIOITA

Avogadron luku:  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ . Elektronin varaus:  $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Ilman keskimääräinen ionisaatioenergia: 33,7 eV

Reaktio:  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$  (neutroni on terminen), vaikutusala: 1,82 barn, Q arvo: 0,63 MeV

Reaktio:  $^1\text{H}(n,\gamma)^2\text{H}$  (neutroni on terminen), vaikutusala: 0,332 barn, Q arvo: 2,23 MeV

TAULUKKO Pehmeän kudoksen neutroniominaisuuksia.  $\sigma_t$  on aineen elastinen sirontavaikutusala termisille neutroneille ja  $\sigma_f$  14 MeV:n neutroneille,  $N$  aineen atomien lukumäärä pehmeässä kudoksessa ja  $f$  keskimääräinen rekylyytimelle siirtynyt osuus neutronin energiasta kun neutronin energia on suuri verrattuna ytimen liike-energiaan.

	$\sigma_t$ m <sup>2</sup>	$\sigma_f$ m <sup>2</sup>	$N$ atomia/kg	$f$
happi	$0,39 \cdot 10^{-27}$	$1,61 \cdot 10^{-28}$	$2,69 \cdot 10^{25}$	0,111
hiili	$0,47 \cdot 10^{-27}$	$1,30 \cdot 10^{-28}$	$6,41 \cdot 10^{24}$	0,142
vety	$2,04 \cdot 10^{-27}$	$0,68 \cdot 10^{-28}$	$5,98 \cdot 10^{25}$	0,500
typpi	$9,91 \cdot 10^{-27}$	$1,58 \cdot 10^{-28}$	$1,49 \cdot 10^{24}$	0,124
natrium	$3,32 \cdot 10^{-27}$	$1,63 \cdot 10^{-28}$	$3,93 \cdot 10^{22}$	0,080
kloori	$1,59 \cdot 10^{-27}$	$2,06 \cdot 10^{-28}$	$1,70 \cdot 10^{22}$	0,053

TAULUKKO Fotonin energia-absorptio massavaimennuskerroin kudokselle.

Energia MeV	Kerroin cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	Energia MeV	Kerroin cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>	Energia MeV	Kerroin cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
0.001	4.96	0.10	0.0252	1.0	0.0308
0.015	1.36	0.15	0.0276	1.5	0.0281
0.020	0.544	0.20	0.0297	2.0	0.0257
0.030	0.154	0.30	0.0317	3.0	0.0225
0.040	0.0677	0.40	0.0325	4.0	0.0203
0.050	0.0409	0.50	0.0327	5.0	0.0188
0.060	0.0312	0.60	0.0326	6.0	0.0178
0.080	0.0255	0.80	0.0318	8.0	0.0163
				10.0	0.0154

TAULUKKO Annosnopeuden lisäskertoimet lyijyssä isotrooppiselle pistelähteelle

Energia MeV	$\mu R$							$Z_0$ 29
	1	2	4	7	10	15	20	
0,50	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65	2,73	
1,00	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81	5,86	
2,00	1,39	1,76	2,51	3,66	4,84	6,87	9,00	
3,00	1,34	1,68	2,43	3,75	5,30	8,44	12,30	
4,00	1,27	1,56	2,25	3,61	5,44	9,80	16,30	
5,10	1,21	1,46	2,08	3,44	5,55	11,70	23,60	
6,00	1,18	1,40	1,97	3,34	5,69	13,80	32,70	
8,00	1,14	1,30	1,74	2,89	5,07	14,10	44,60	
10,00	1,11	1,23	1,58	2,52	4,34	12,50	39,20	

TAULUKKO Eräiden radionuklidien kermanopeusvakiot [ $10^{-15} \times \text{Gy m}^2 / \text{Bq/h}$ ]

$^{22}\text{Na}$ 284	$^{24}\text{Na}$ 435	$^{42}\text{K}$ 347,2	$^{51}\text{Cr}$ 3,77	$^{60}\text{Co}$ 312	$^{65}\text{Zn}$ 63,9	$^{122}\text{Sb}$ 56,7	$^{125}\text{I}$ 16,5
$^{131}\text{I}$ 52,0	$^{132}\text{I}$ 317	$^{134}\text{Cs}$ 215	$^{137}\text{Cs}$ 78,1	$^{192}\text{Ir}$ 113	$^{198}\text{Au}$ 54,4	$^{203}\text{Hg}$ 30,7	$^{226}\text{Ra}$ 196
$^{241}\text{Am}$ 3,8							