

Tentti 17.12.2021

Sallittu tenttivarustus: kirjoitusvälineet ja laskin.

Tentin maksimipistemäärä on 90p. Eri tehtävien ja niissä olevien alakohtien pisteytys on esitetty kunkin tehtävän kohdalla.

Tämän tentin perusteella voidaan myöntää säteilyturvallisuusvastaavan (STV) tutkintotodistus. Sen minimiedellytyksenä on arvosana 3, mikä taataan 2/3:lla maksimipistemäärästä (60/90). STV:n toimintatyyppi-kohtainen osaamisala on STM-asetuksen 1044/2018 mukainen teollisuuden ja tutkimuksen säteilytoiminnan osaamisala 1: umpilähde- ja röntgentoiminta (pl. hiukkaskiihdyttimet) sekä avolähteiden käyttö laboratoriossa säteilylähteiden luokassa 3.

Tehtävä 1 (18p)

Määrittele tai kuvaile lyhyesti seuraavat termit.

- a) Rinnakkaisuus ja erilaisuus (ydinturvallisuudessa). (3p)
- b) KBS3-moniesteperiaate. (3p)
- c) Turvallisuuskulttuuri. (3p)
- d) Efektiiäinen annos. (3p)
- e) Annosnopeuden lisäyskerroin. (3p)
- f) Kalium-40. (3p)

Tehtävä 2 (18p)

Vastaa lyhyesti omin sanoin seuraaviin kysymyksiin.

- a) Miten ionisoiva säteily vuorovaikuttaa biologisessa kudoksessa? Minkälaisia seurauksia näistä vuorovaikutuksista on ihmisille yksilö- ja populaatiotasolla? Miten seuraukset riippuvat säteilyannoksen suuruudesta? (6p)
- b) Yleisimmin käytössä olevat säteilyilmaisimet eli -detektorit voidaan jaotella kolmeen päätyyppiin. Mitkä nämä ovat? Mitkä ovat niiden keskeiset ominaisuudet? Mitkä ovat tärkeimmät erot? (6p)
- c) Tämä kurssi voi antaa säteilyturvallisuusvastaavan pätevyyden umpilähde- ja röntgentoimintaan sekä avolähteiden käyttöön laboratoriossa tietyillä rajauksilla. Mitä yhtäläisyyksiä ja eroja on näissä kolmessa säteilytoiminnassa (umpilähteet, röntgenlaitteet, avolähteet) sekä niitä koskevassa säännöstössä? (6p)

Tehtävä 3 (18p)

Vastaa lyhyesti omin sanoin seuraaviin kysymyksiin.

- a) Mitkä ovat Suomen lainsäädännön mukaiset säteilyannosrajat säteilyöntekijöille ja muulle väestölle? Millä perusteella päätetään, kumpia rajoja noudatetaan? (6p)
- b) Mitkä ovat säteilyn käytön kolme yleistä pääperiaatetta? Miten tulkitset niitä omin sanoin? (6p)
- c) Mikä on suomalaisten keskimääräinen säteilyannos vuosittain ja mistä se koostuu? (6p)

Tehtävä 4 (18p)

Reuman hoitoon käytettävää dysprosium-165:tä on joutunut pieni pisara hoitajan iholle. Pisanan aktiivisuus on 7 kBq ja hajoamiskaavion mukaan ^{165}Dy hajoaa lähes puhtaalla β^- -hajonnalla stabiiliksi ^{165}Ho :ksi noudattaen 2,33 tunnin puoliintumisaikaa. Prosessin Q-arvo on 1290 keV.

(a) Laske ekvivalenttiannoksen kertymä, jos pisara jää iholle (12p).

(b) Hoitaja pesee pisanan pois 2 tunnin altistuksen jälkeen. Kuinka suuren osuuden säteilyaltistuksesta hän näin välttää (6p)?

Perustele laskusi ja tekemäsi oletukset.

Elektronin kantama voidaan arvioida alla esitetyllä tavalla [STUK-kirjasarja, kirja 1, luku 1].

Elektronin kantama ilmaistaan usein pinta-alamassayksiköissä. Kokeellisiin tuloksiin sovittamalla on saatu kantaman (g cm^{-2}) lausekkeet

$$R_{\rho} = \begin{cases} 0,412 E^{1,254 - 0,0954 \ln E}, & \text{kun } 0,01 \text{ MeV} \leq E \leq 2,5 \text{ MeV} \\ 0,53 E - 0,106, & \text{kun } E > 2,5 \text{ MeV ja } R_{\rho} > 1,2 \text{ g cm}^{-2} \end{cases} \quad (1.39)$$

Tässä beetasäteilyn maksimienergiaa on merkitty E :llä (MeV).

Tehtävä 5 (18p)

- Sinulla on käytettävissäsi tutkimusreaktori, jonka eräessä säteilytyspositiossa terminen neutronivuoto on $1,2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$. Haluat tuottaa sillä 300 kBq:n ^{24}Na -lähteen tutkimuslaboratorioosi. Tätä varten otat 0,2 mg puhdasta ei-jodipitoista pöytäsuolaa (76% $^{23}\text{Na}^{35}\text{Cl}$ ja 24% $^{23}\text{Na}^{37}\text{Cl}$) ja säteilytät sitä reaktorissa. Kuinka kauan? ^{24}Na :n puoliintumisaika on 15 tuntia ja reaktion $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$ keskimääräinen terminen vaikutusala on 0,53 barnia. (12p)
- Haluat lyhentää säteilytysaikaa. Mitä ratkaisuvaihtoehtoja sinulla on? (3p)
- Myös pöytäsuolan kloori aktivoituu neutronivuossa. Korkeimman aktiivisuuden saa isotooppi ^{38}Cl , jonka puoliintumisaika on 37 minuuttia. Miten tämä ongelma on hoideltavissa? (3p)

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. σ_t on aineen elastinen sirontavaiikutusala termisille neutroneille ja σ_f 14 MeV:n neutroneille, N aineen atomien lukumäärä pehmeässä kudoksessa ja f keskimääräinen rekyyliytimelle siirtynyt osuus neutronin energiasta kun neutronin energia on suuri verrattuna ytimen liike-energiaan.

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