

Tentti 22.02.2023

Sallittu tenttivarustus: kirjoitusvälineet ja laskin.

Tentin maksimipistemäärä on 90 pistettä. Eri tehtävien ja niissä olevien alakohdienten pisteytys on esitetty kunkin tehtävän kohdalla. Tentin kesto on 3 h, joten 1 piste vastaa nimellisesti 2 minuutin työmäärää.

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 avo lähteiden käyttö laboratoriossa säteilylähteiden luokassa 3.

**Tehtävä 1 (18p)**

Vastaa lyhyesti seuraaviin kysymyksiin.

- Mitäkä ovat säteilyn käytön kolme yleistä pääperiaatetta? Miten tulkitset niitä omin sanoin? (6p)
- Mitkä ovat Suomen lainsäädännön mukaiset säteilyannosrajat säteilytyöntekijöille ja muulle väestölle? Millä perusteella päätetään, kumpia rajoja noudatetaan? (6p)
- Mikä on röntgenlaitteen toimintaperiaate ja miten röntgensäteilytä suojaudutaan? (6p)

**Tehtävä 2 (18p)**

Vastaa lyhyesti seuraaviin kysymyksiin.

- Miten ionisoiva säteily vuorovaikuttaa biologisessa kudoksessa? Minkälaisia seurauksia näistä vuorovaikutuksista on ihmisille yksilö- ja populaatiotasolla? Miten seuraukset riippuvat säteilyannoksen suuruudesta? (6p)
- Mitä on korkea-aktiivinen ydinjäte ja miten siitä huolehditaan Suomessa? (6p)
- Anna kolme esimerkkiä Säteilyturvakeskuksen (STUK) määräyksistä. Miten määräykset sijoittuvat suomalaisessa säännöhierarkiassa? (6p)

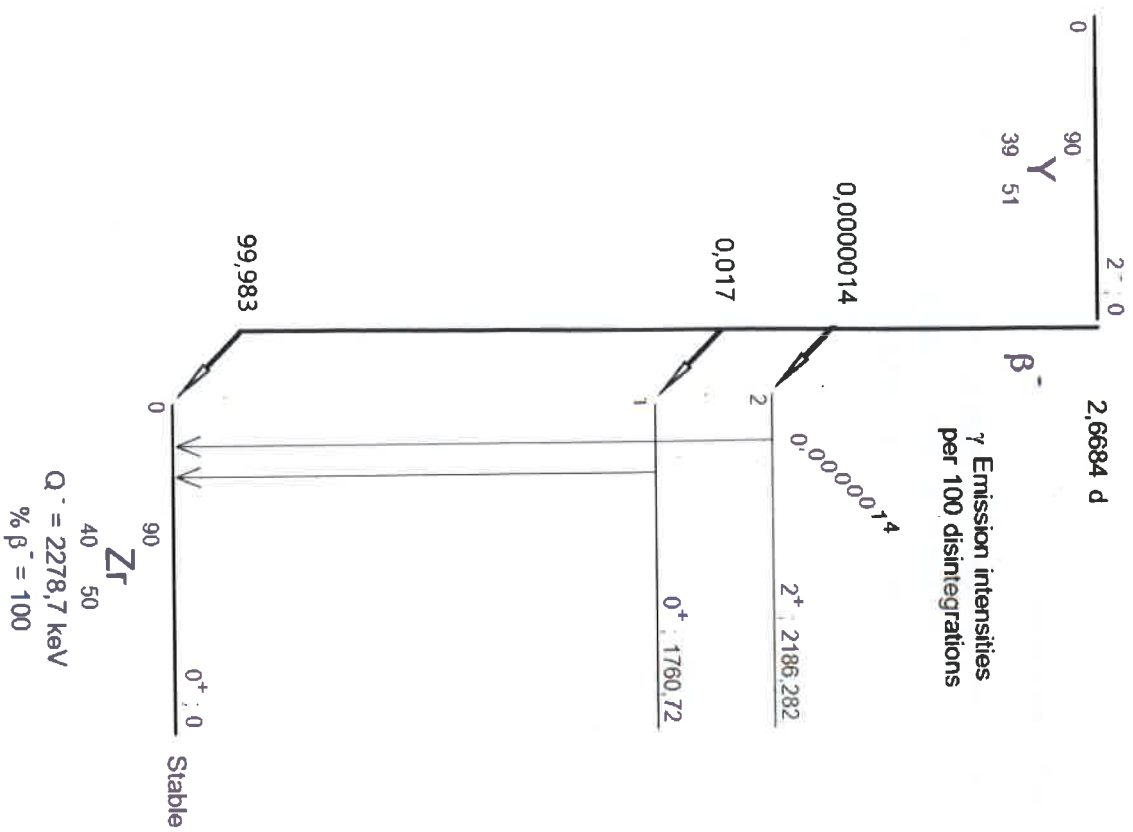
**Tehtävä 3 (18p)**

Määrittele tai kuvaile lyhyesti seuraavat termit.

- Kollektiivinen annos. (3p)
- Radonin säteilyltä suojautuminen. (3p)
- Umpilähteiden käyttöesimerkkejä teollisuudessa. (3p)
- Turvallisuuskulttuuri. (3p)
- Ydinvoimalaitoksen YVA-menetelyn pääpiirteet. (3p)
- INES-luokitus. (3p)

Tehtävä 4 (18p)

- a) Hajamielinen säteilytyöntekijä laittaa 10 cm pitkän ohuen  $^{90}\text{Y}$ -lähteen rintataskuunsa työpäivänsä alussa. Lähteen aktiivisuus on jakautunut tasaisesti pituusyksikköä kohti: 1 MBq/m. Arvioi lähteen alla olevaan ihoon kohdistuva ekvivalenssiantennopeus. Tee konservatiivinen arvio jättämällä laboratoriotakin ja t-paidan vaimentava vaikutus huomiotta ja perustele mahdolliset muut tekemäsi oletukset. Alla  $^{90}\text{Y}$ :n hajoamiskaavo DDEP:n mukaan sekä kaava elektronin kantamalle STUKin kirjasarjan mukaan. (9p)
- b) Miten suuri ekvivalenssiantennopeus kertyy säteilylle altistuvaan ihoon? Oletetaan, että työntekijä paiskii ylipitkän 16 tunnin työpäivän laboratoriossa ennen kuin riisuu työtakkinsa. (6p)
- c) Minkälaisia fyysisiä ja hallinnollisia seuraamuksia työntekijälle aiheutuu? (3p)



Elektronin kantama ilmaistaan usein pinta-alamassayksiköissä. Kokeelisiin tuloksiin sovitamalla on saatu kantaman ( $\text{g cm}^{-2}$ ) lausekkeet

$$R_p = \begin{cases} 0,412 E^{1,254} - 0,0054 \ln E, & \text{kun } 0,01 \text{ MeV} \leq E \leq 2,5 \text{ MeV} \\ 0,53 E - 0,106, & \text{kun } E > 2,5 \text{ MeV ja } R_p > 1,2 \text{ g cm}^{-2} \end{cases} \quad (1.39)$$

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

#### Tehtävä 5 (18p)

- Sinulla on käytettävissäsi tutkimusreaktori, jonka eräessä säteilypositiossa termien neutronivuo on  $1,2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Haluat tuottaa sillä 300 kBq:n  $^{24}\text{Na}$ -lähteen tutkimuslaboratoriosi. 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?  $^{24}\text{Na}$ :n puoliintumisaika on 15 tuntia ja reaktion  $^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$  keskimääräinen termien vaikutusala on 0,53 barnia. (12p)
- Haluat lyhentää säteilytysaika. Mitä ratkaisuvaihtoehtoja sinulla on? (3p)
- Myös pöytäsuolan kloori aktivoituu neutronivuossa. Korkeimman aktiivisuuden saa isotooppi  $^{38}\text{Cl}$ , jonka puoliintumisaika on 37 minuuttia. Miten tämä ongelma on hoidettavissa? (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:  $33,7 \text{ eV}$

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

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

TAULUKKO Pehmeän kudoksen neutroniominaisuuksia.  $\sigma_t$  on aineen elastinen sirontavai-  
kutusalaa termisille neutroneille ja  $\sigma_f$   $^{14}\text{MeV}$ :n neutroneille,  $N$  aineen atomien lukumäärä  
pehmeässä kudoksessa ja  $f$  keskimääräinen rekytyilytimelle siirtynyt osuus neutronin ener-  
giasta kun neutronin energia on suuri verrattuna ytimen liike-energiaan.

	$\sigma_t$ $\text{m}^2$	$\sigma_f$ $\text{m}^2$	$N$ 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-absorption massavaimennuskertoain kudokselle.

Energia MeV	Kerroin $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$	Energia MeV	Kerroin $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$	Energia MeV	Kerroin $\text{cm}^2\text{g}^{-1}$
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 lisäyskertoimet lyijyssä isotrooppiselle pistelähteelle

Energia MeV	$\mu R$						
	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 kermaisuusvakiot  $[10^{-15} \times \text{Gy m}^2 / \text{Bq h}]$

$^{22}\text{Na}$ 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							