

Tentti 22.02.2023

Sallittu tenttivarustus: kirjoitusvälineet ja laskin.

Tentin maksimipistemäärä on 90 pistettä. Eri tehtävien ja niissä olevien alakohtien 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 avolähteiden käyttö laboratoriossa säteilylähteiden luokassa 3.

Tehtävä 1 (18p)

Vastaa lyhyesti seuraaviin kysymyksiin.

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

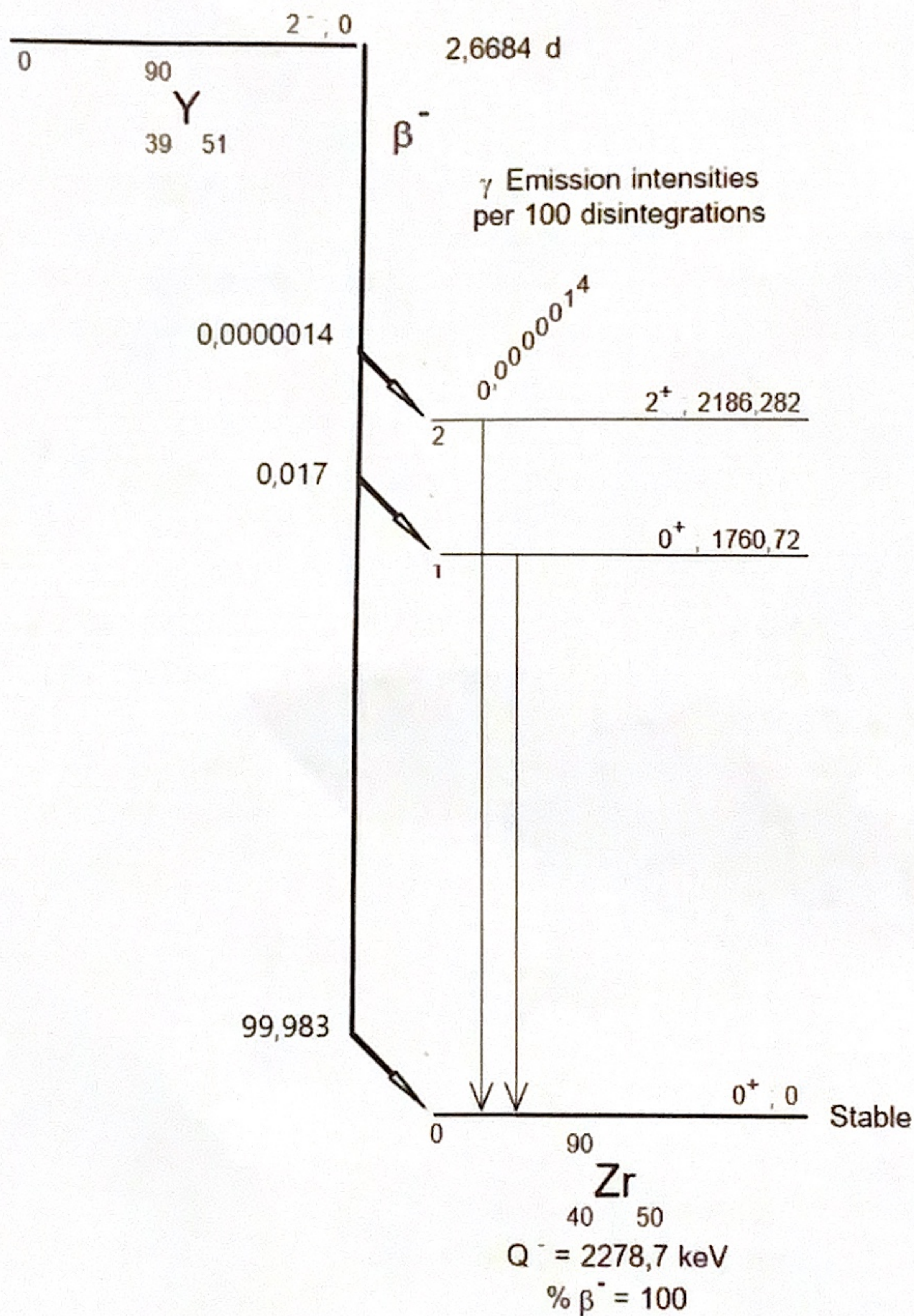
Tehtävä 3 (18p)

Määrittele tai kuvaile lyhyesti seuraavat termit.

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

Tehtävä 4 (18p)

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



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 neutronivuo on $1,2 \cdot 10^{12} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Haluat tuottaa sillä 300 kBq:n ^{24}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}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 rekylyytimelle 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-absorption massavaimennuskertoimen kudokselle.

Energia MeV	Kerroin cm ² g ⁻¹	Energia MeV	Kerroin cm ² g ⁻¹	Energia MeV	Kerroin cm ² 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 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							