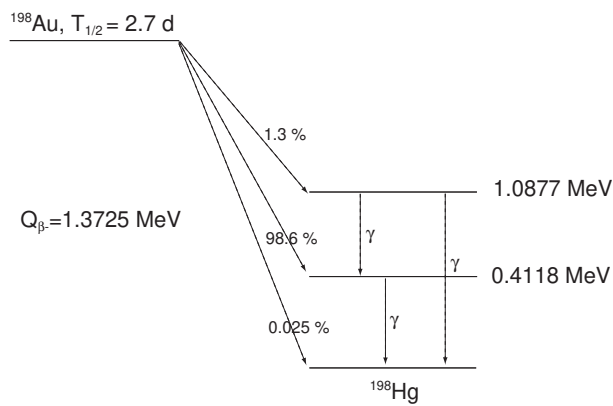
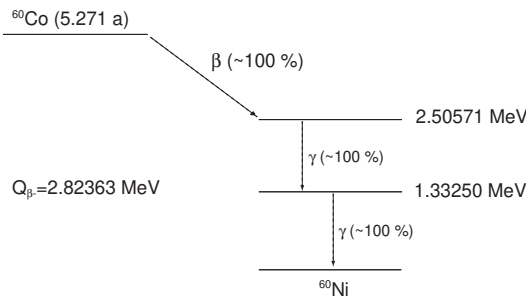


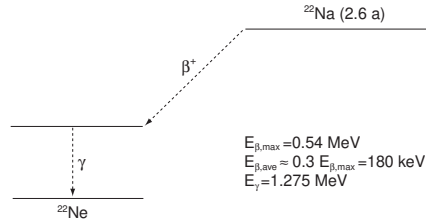
1. γ -säteilyltä suojautuminen.
2. Laske ^{198}Au -pistelähteen (β - ja γ -säteilijä) aiheuttama annosnopeus 10 cm:n etäisyydellä ilmassa. Lähteen aktiivisuus on $A = 40 \text{ kBq}$, keskimääräinen ionisaatioenergia ilmassa on $33,7 \text{ eV}$, ilman tiheys on $\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ mg/cm}^3$. ^{198}Au :n kermanopeusvakio on $5,44 \times 10^{-8} \frac{\text{Gym}^2}{\text{MBqh}}$. Kullan hajoamiskaavio on alla.



3. Laske annosnopeus 2 metrin etäisyydellä ympyränmuotoisesta ^{60}Co -levylähteestä ($R = 1 \text{ m}$), jonka pinta-aktiivisuus on $A_S = 100 \text{ kBq/m}^2$. ^{60}Co :n ilmakermanopeusvakio on $\Gamma_{\delta} = 308 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Gym}^2}{\text{MBqh}}$.



4. 5 MBq $^{22}\text{NaCl}$ -liuosta joutuu standardi-ihmisen elimistöön. Hän painaa 70 kg, massasta 60 % on vettä, kudoksen suolakonsentraatio on 0,9 % ja päivittäinen suolan käyttö on 20 g.
 - (a) Laske kuinka suuri säteilyannos ^{22}Na :n saannista aiheutuu?
 - (b) Kuinka suuri osa säteilyrasituksesta voidaan välttää lisäämällä suolan kulutusta 30 g/d (eli käytetäänkin 50 g/d)?
 - (c) Vertaa (a)-kohdan tulosta annosmuuntokertoimella saatavaan arvoon.



5. Säteilytyöntekijät altistuvat työpaikalla hengityksen kautta kolmelle radionuklidille (^{22}Na , ^{24}Na , ^{32}P), joiden annosmuuntokertoimet $h(g)$ on määritelty VN-asetuksen 1034/2018 Liitteessä 3 (alunperin ST-ohje 7.3:ssa).

Vuonna 2022 arvioidaan vuosisaantien olevan poikkeuksellisen suuret eli vastaavasti 2 MBq, 18 MBq sekä 5 MBq. Onko tilanne säteilylainsäädännön kannalta hyväksyttävä? Olisiko tilanne ollut hyväksyttävä vuonna 2017?

<https://www.stuklex.fi/>

LIITE IV

Energia-absorption massakerroin μ_{en}/ρ , cm^2g^{-1} .

Fotonin energia, MeV	Vesi	Ilma	Luu	Lihas
0.010	4.84	4.65	19.0	4.96
0.015	1.34	1.30	5.89	1.36
0.020	0.536	0.527	2.51	0.544
0.030	0.152	0.150	0.743	0.154
0.040	0.0680	0.0671	0.305	0.0677
0.050	0.0415	0.0404	0.158	0.0409
0.060	0.0315	0.0301	0.0979	0.0312
0.080	0.0258	0.0239	0.0520	0.0255
0.10	0.0254	0.0232	0.0386	0.0252
0.15	0.0276	0.0249	0.0304	0.0276
0.20	0.0297	0.0267	0.0302	0.0297
0.30	0.0319	0.0287	0.0311	0.0317
0.40	0.0328	0.0295	0.0316	0.0325
0.50	0.0330	0.0297	0.0316	0.0327
0.60	0.0328	0.0295	0.0315	0.0326
0.80	0.0321	0.0288	0.0306	0.0318
1.0	0.0310	0.0279	0.0297	0.0308
1.5	0.0283	0.0255	0.0270	0.0281
2.0	0.0260	0.0234	0.0248	0.0257
3.0	0.0228	0.0206	0.0219	0.0225
4.0	0.0206	0.0187	0.0199	0.0203
5.0	0.0192	0.0174	0.0186	0.0188
6.0	0.0181	0.0165	0.0178	0.0178
8.0	0.0166	0.0152	0.0165	0.0163
10.0	0.0157	0.0145	0.0159	0.0154

Hubbell, J. Radiation Research 1977; 70: 58-81 (vesi, ilma).

National Bureau of Standards 1964. Handbook No. 85 (luu, lihas).

TAULUKKO C1

Suun tai hengityksen kautta kehoon joutuneiden radionuklidien annosmuuntokertoimien $h(g)$ arvot säteilyöntekijöille.

Nuklidi	Fysikaalinen puoliintumisaika	Hengityksen kautta				Suun kautta	
		Kaukko- absorptio- luokka	f_I	$h(g)_{1\ \mu\text{m}}$	$h(g)_{5\ \mu\text{m}}$	f_I	$h(g)$
Vety Tritioitu vesi OBT ¹⁾	12,3 a 12,3 a			Ks. taulukko C 2 Ks. taulukko C 2		1,000 1,000	$1,8 \cdot 10^{-11}$ $4,2 \cdot 10^{-11}$
Beryllium Be-7	53,3 d	M ²⁾	0,005	$4,8 \cdot 10^{-11}$	$4,3 \cdot 10^{-11}$	0,005	$2,8 \cdot 10^{-11}$
Be-10	$1,60 \cdot 10^6$ a	S ³⁾ M S	0,005 0,005 0,005	$5,2 \cdot 10^{-11}$ $9,1 \cdot 10^{-9}$ $3,2 \cdot 10^{-8}$	$4,6 \cdot 10^{-11}$ $6,7 \cdot 10^{-9}$ $1,9 \cdot 10^{-8}$	0,005	$1,1 \cdot 10^{-9}$
Hilli C-11 C-14	0,340 h $5,73 \cdot 10^3$ a			Ks. taulukko C 2 Ks. taulukko C 2		1,000 1,000	$2,4 \cdot 10^{-11}$ $5,8 \cdot 10^{-10}$
Fluori F-18	1,83 h	F ⁴⁾ M S	1,000 1,000 1,000	$3,0 \cdot 10^{-11}$ $5,7 \cdot 10^{-11}$ $6,0 \cdot 10^{-11}$	$5,4 \cdot 10^{-11}$ $8,9 \cdot 10^{-11}$ $9,3 \cdot 10^{-11}$	1,000	$4,9 \cdot 10^{-11}$
Natrium Na-22 Na-24	2,60 a 15,0 h	F F	1,000 1,000	$1,3 \cdot 10^{-9}$ $2,9 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$ $5,3 \cdot 10^{-10}$	1,000 1,000	$3,2 \cdot 10^{-9}$ $4,3 \cdot 10^{-10}$
Magnesium Mg-28	20,9 h	F M	0,500 0,500	$6,4 \cdot 10^{-10}$ $1,2 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$ $1,7 \cdot 10^{-9}$	0,500	$2,2 \cdot 10^{-9}$
Alumiini Al-26	$7,16 \cdot 10^5$ a	F M	0,010 0,010	$1,1 \cdot 10^{-9}$ $1,8 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$ $1,2 \cdot 10^{-9}$	0,010	$3,5 \cdot 10^{-9}$
Pii Si-31 Si-32	2,62 h $4,50 \cdot 10^2$ a	F M S F M S	0,010 0,010 0,010 0,010 0,010 0,010	$2,9 \cdot 10^{-11}$ $7,5 \cdot 10^{-11}$ $8,0 \cdot 10^{-11}$ $3,2 \cdot 10^{-9}$ $1,5 \cdot 10^{-8}$ $1,1 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{-11}$ $1,1 \cdot 10^{-10}$ $1,1 \cdot 10^{-10}$ $3,7 \cdot 10^{-9}$ $9,6 \cdot 10^{-9}$ $5,5 \cdot 10^{-8}$	0,010 0,010	$1,6 \cdot 10^{-10}$ $5,6 \cdot 10^{-10}$
Fosfori P-32 P-33	14,3 d 25,4 d	F M F M	0,800 0,800 0,800 0,800	$8,0 \cdot 10^{-10}$ $3,2 \cdot 10^{-9}$ $9,6 \cdot 10^{-11}$ $1,4 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$ $2,9 \cdot 10^{-9}$ $1,4 \cdot 10^{-10}$ $1,3 \cdot 10^{-9}$	0,800 0,800	$2,4 \cdot 10^{-9}$ $2,4 \cdot 10^{-10}$
Rikki S-35 (epäorgaaninen) S-35 (orgaaninen)	87,4 d 87,4 d	F M	0,800 0,800	$5,3 \cdot 10^{-11}$ $1,3 \cdot 10^{-9}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$ $1,1 \cdot 10^{-9}$	0,800 0,100 1,000	$1,4 \cdot 10^{-10}$ $1,9 \cdot 10^{-10}$ $7,7 \cdot 10^{-10}$
Kloori Cl-36 Cl-38 Cl-39	$3,01 \cdot 10^5$ a 0,620 h 0,927 h	F M F M F M	1,000 1,000 1,000 1,000 1,000 1,000	$3,4 \cdot 10^{-10}$ $6,9 \cdot 10^{-9}$ $2,7 \cdot 10^{-11}$ $4,7 \cdot 10^{-11}$ $2,7 \cdot 10^{-11}$ $4,8 \cdot 10^{-11}$	$4,9 \cdot 10^{-10}$ $5,1 \cdot 10^{-9}$ $4,6 \cdot 10^{-11}$ $7,3 \cdot 10^{-11}$ $4,8 \cdot 10^{-11}$ $7,6 \cdot 10^{-11}$	1,000 1,000 1,000	$9,3 \cdot 10^{-10}$ $1,2 \cdot 10^{-10}$ $8,5 \cdot 10^{-11}$

¹⁾ OBT = orgaanisessa molekyylissä oleva tritium.

²⁾ Luokka M: kohtalaisen nopea absorboituminen keuhkoista.

³⁾ Luokka S: hidas absorboituminen keuhkoista.

⁴⁾ Luokka F: nopea absorboituminen keuhkoista.

Tehtävien ideat ja ratkaisuvinkit

Edellä tehtävät ovat siinä muodossa, jossa ne voisivat esiintyä kurssin tentissä. Alla on joitakin vinkkejä tehtävien ratkaisemiseksi.

1. Tässä esimerkki tyypillisestä tentissä käytetystä selitystehtävästä. Jotta pystyy kertomaan γ -säteilystä suojautumisesta, täytyy ensin kertoa mitä se on, mistä sitä syntyy ja miten se käyttäytyy väliaineessa. Tietoa löytyy STUKin kirjasta 1 sekä lukion kurssin ”Aine ja säteily” oppikirjasta.

2. Tämän tehtävän ensimmäisenä asiana on oppia lukemaan hajoamiskaavioita. Kaavioiden tulkitsemisohje löytyy kurssin MyCourses-sivustolta.

Toisena asiana on huomata ero edellisen laskarin β -annoslaskuun: nyt lähde ei ole ihon pinnalla, joten aiempi menetelmä ei käy. Tässä joudutaan käyttämään semiempiirisä Loevingerin kaavoja, jotka löytyvät kirjasta O.J. Marttila, ”Säteily, sen käyttö ja valvonta” (1971). Kaavat esitellään laskuharjoituksissa, mutta niitä ei ole tarkoitus opiskella sen tarkemmin.

Kolmantena asiana tehtävässä on γ -annoslasku, joka onnistuu kermanopeusvakion avulla. Kyseessä on tämän kurssin keskeinen laskumenetelmä.

3. Tämäkin tehtävä alkaa hajoamiskaavion lukemisella. Kun lasketaan annosnopeutta 2 metrin etäisyydellä, niin voidaan keksiä perustelu, jolla β -annosta ei tarvitse laskea Loevingerin kaavoilla.

Laskumenetelmä γ -annokselle on sama kuin edellisessä tehtävässä. Nyt kuitenkin meillä on pistelähteen sijaan ympyrälevyn muotoinen lähde, mikä täytyy huomioida laskussa. Vihje: kannattaa laskea infinitesimaalisen leveiden ympyräsuikaleiden aiheuttama annos mittauspisteessä ja summata (eli integroida) suikaleet alkaen 0-säteestä ympyrän koko säteeseen.

4. Tämäkin tehtävä alkaa hajoamiskaavion lukemisella. Tehtävä on tarkoitus ratkaista ensin fysikaalisten periaatteiden mukaan ja sitten c-kohdassa lukea annosmuuntokertoimen arvo taulukosta.

Fysikaalisten periaatteiden mukainen lasku edellyttää oletuksia:

- kudosten suolakonsentraatio pysyy vakiona eli kehon suolamäärä on vakio,
- ravinnon mukana kudoksiin tulee lisää suolaa, joka korvaa kehossa jo olevaa suolamäärää,
- sekoittuminen tapahtuu välittömästi koko kehossa,
- kaikki β -energia absorboituu kudokseen,
- γ -energiasta absorboituu kudokseen osa, joka vastaa energia-absorption massakerrointa, kun oletetaan gammojen kulkevan kudoksessa 20 cm.

Kokonaisannoksen kaava riippuu suolankulutuksesta. Kun vaihdetaan b-kohdassa suolankulutus suuremmaksi, niin kokonaisannos muuttuu vastaavasti.

5. Tehtävä ratkaistaan käyttäen VN-asetuksen 1034/2018 Liitteen 3 taulukkoa C1. Siitä löytyy annosmuuntokertoimet, joiden avulla voidaan laskea tunnetusta radionuklidien saannista aiheutuva efektiivinen annos.