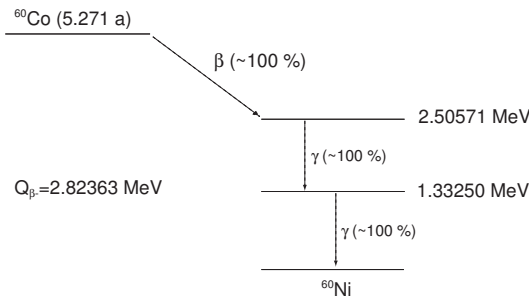
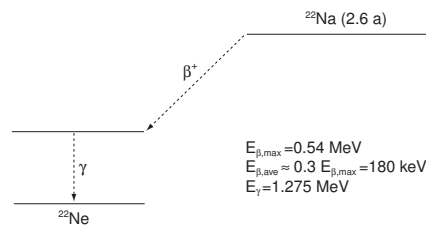


1. γ -säteilyltä suojautuminen.
2. Laske annosnopeus 2 metrin etäisyydellä ympyränmuotoisesta ^{60}Co -levylähteestä ($R = 1 \text{ m}$), jonka pinta-aktiivisuus on $A_S = 100 \text{ kBq/m}^2$. ^{60}Co :n ilmakermanopeusvakio on $\Gamma_\delta = 308 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Gy m}^2}{\text{MBq h}}$.



3. 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.



4. 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 2019 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/>

5. Johda ^{60}Co -isotoopin ilmakermanopeusvakio ja säteilytysnopeusvakio. Yhdessä hajoamisessa vapautuu kaksi γ -kvanttia, joiden energiat ovat 1,17 MeV ja 1,33 MeV. Keskimääräinen ionisaatioenergia ilmassa on 33,7 eV, keskimääräistä fotonienenergiaa vastaava massan energia-absorptiokerroin on $\mu_{en}/\rho = 0,0268 \text{ cm}^2/\text{g}$, ja ilman tiheys on $\rho_{air} = 1,29 \text{ mg/cm}^3$.

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

TAULUKKO C1

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

Nuklidi	Fysikaalinen puolintumisaika	Keuhko- absorptio- lasku	Hengityksen kautta			Suun kautta		
			f_1	$h(g)_{1, \mu m}$	$h(g)_{5, \mu m}$	f_2	$h(g)$	
Vety								
Tritioitu vesi	12,3 a			Ks. taulukko C 2			1,000	$1,8 \cdot 10^{-11}$
OBT ¹⁾	12,3 a			Ks. taulukko C 2			1,000	$4,2 \cdot 10^{-11}$
Beryllium								
Be-7	53,3 d	M ²⁾	0,005	$4,8 \cdot 10^{-11}$	$4,3 \cdot 10^{-11}$	0,005	$2,8 \cdot 10^{-11}$	
		S ³⁾	0,005	$5,2 \cdot 10^{-11}$	$4,6 \cdot 10^{-11}$			
Be-10	$1,60 \cdot 10^6$ a	M	0,005	$9,1 \cdot 10^{-9}$	$6,7 \cdot 10^{-9}$	0,005	$1,1 \cdot 10^{-9}$	
		S	0,005	$3,2 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$			
Hiili								
C-11	0,340 h			Ks. taulukko C 2			1,000	$2,4 \cdot 10^{-11}$
C-14	$5,73 \cdot 10^3$ a			Ks. taulukko C 2			1,000	$5,8 \cdot 10^{-10}$
Fluori								
F-18	1,83 h	F ⁴⁾	1,000	$3,0 \cdot 10^{-11}$	$5,4 \cdot 10^{-11}$	1,000	$4,9 \cdot 10^{-11}$	
		M	1,000	$5,7 \cdot 10^{-11}$	$8,9 \cdot 10^{-11}$			
		S	1,000	$6,0 \cdot 10^{-11}$	$9,3 \cdot 10^{-11}$			
Natrium								
Na-22	2,60 a	F	1,000	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	1,000	$3,2 \cdot 10^{-9}$	
Na-24	15,0 h	F	1,000	$2,9 \cdot 10^{-10}$	$5,3 \cdot 10^{-10}$	1,000	$4,3 \cdot 10^{-10}$	
Magnesium								
Mg-28	20,9 h	F	0,500	$6,4 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	0,500	$2,2 \cdot 10^{-9}$	
		M	0,500	$1,2 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$			
Alumiini								
Al-26	$7,16 \cdot 10^5$ a	F	0,010	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$	0,010	$3,5 \cdot 10^{-9}$	
		M	0,010	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$			
Pii								
Si-31	2,62 h	F	0,010	$2,9 \cdot 10^{-11}$	$5,1 \cdot 10^{-11}$	0,010	$1,6 \cdot 10^{-10}$	
		M	0,010	$7,5 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$			
		S	0,010	$8,0 \cdot 10^{-11}$	$1,1 \cdot 10^{-10}$			
Si-32	$4,50 \cdot 10^2$ a	F	0,010	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	0,010	$5,6 \cdot 10^{-10}$	
		M	0,010	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$9,6 \cdot 10^{-9}$			
		S	0,010	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$5,5 \cdot 10^{-8}$			
Fosfori								
P-32	14,3 d	F	0,800	$8,0 \cdot 10^{-10}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	0,800	$2,4 \cdot 10^{-9}$	
		M	0,800	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$			
P-33	25,4 d	F	0,800	$9,6 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-10}$	0,800	$2,4 \cdot 10^{-10}$	
		M	0,800	$1,4 \cdot 10^{-9}$	$1,3 \cdot 10^{-9}$			
Rikki								
S-35 (epäorgaaninen)	87,4 d	F	0,800	$5,3 \cdot 10^{-11}$	$8,0 \cdot 10^{-10}$	0,800	$1,4 \cdot 10^{-10}$	
		M	0,800	$1,3 \cdot 10^{-9}$	$1,1 \cdot 10^{-9}$	0,100	$1,9 \cdot 10^{-10}$	
S-35 (orgaaninen)	87,4 d			Ks. taulukko C 2			1,000	$7,7 \cdot 10^{-10}$
Kloori								
Cl-36	$3,01 \cdot 10^5$ a	F	1,000	$3,4 \cdot 10^{-10}$	$4,9 \cdot 10^{-10}$	1,000	$9,3 \cdot 10^{-10}$	
		M	1,000	$6,9 \cdot 10^{-9}$	$5,1 \cdot 10^{-9}$			
Cl-38	0,620 h	F	1,000	$2,7 \cdot 10^{-11}$	$4,6 \cdot 10^{-11}$	1,000	$1,2 \cdot 10^{-10}$	
		M	1,000	$4,7 \cdot 10^{-11}$	$7,3 \cdot 10^{-11}$			
Cl-39	0,927 h	F	1,000	$2,7 \cdot 10^{-11}$	$4,8 \cdot 10^{-11}$	1,000	$8,5 \cdot 10^{-11}$	
		M	1,000	$4,8 \cdot 10^{-11}$	$7,6 \cdot 10^{-11}$			

¹⁾ OBT = orgaanisissa molekyylissä oleva tritium.

²⁾ Luokka M: kohtalaisen nopea absorboituminen keuhkoista.

³⁾ Luokka S: hidas absorboituminen keuhkoista.

⁴⁾ Luokka F: nopea absorboituminen keuhkoista.