

Tutkintotodistuksen saamisen perusedellytyksenä on vastaaminen kaikkiin kysymyksiin sekä vähintään puolet maksimipistemäärästä. Pelkän kurssin läpäisyn vaatimukset ovat lievemmät (esim. vastattujen tehtävien lukumäärä).

1. Selvitä seuraavat käsitteet:
 - (a) Vuosisaantoraja (ALI)
 - (b) Annoskertymä ja kollektiivinen annos
 - (c) Energian siirtokyky L_{Δ}
 - (d) Mistä suomalaisten keskimääräinen vuosittainen säteilyannos koostuu ja mitä suuruusluokkaa annokset ovat?
 - (e) Ydinvoimalaitoksessa syntyvät tärkeimmät aktivoitumistuotteet ja näistä aiheutuvat päästöt.
 - (f) Työntekijöiden säteilyannosten valvontaan käytettävät dosimetrit.
2. Suomen lainsäädännön mukaiset säteilyannosrajat. Anna esimerkki milloin on kyse efektiivisestä annoksesta ja milloin ekvivalenttiannoksesta ja määrittele mitä näillä käsitteillä tarkoitetaan.
3. Selosta lyhyesti seuraavat säteilysuojeluun liittyvät asiat a) Säteilysuojelun kolme peruseriaatetta. b) Ionisoivan säteilyn terveysvaikutusten esiintymismuodot sekä vuorovaikutustavat kudoksessa (vain pääpiirteet). c) β^+ - säteily ja suojauminen sitä vastaan.
4. 15 cm:n paksuiseen lyijysuojaan suljettu 7,45 gramman painoinen 700 GBq:n ^{60}Co -lähde sijaitsee lukitussa verkkokopissa. Saako säteilytyössä oleva henkilö työskennellä vakituisesti (=2000 tuntia vuodessa) kopin ulkopuolella 2 metrin päässä lähteestä? Kommentteja?
(Hajotessaan ^{60}Co lähettää kaksi gammaa energioiltaan 1,33 MeV ja 1,17 MeV. Lyijyn tiheys on 11,35 g/cm³ ja atomipaino 207,2.)
5. Reuman hoitoon käytettävää dysprosium-165 isotooppia on joutunut pieni pisara hoitajattaren iholle. Pisanan aktiivisuus on 5 Mq ja ^{165}Dy hajoaa β^- hajonnalla ($E_{max} = 1,29$ MeV) 2,33 tunnin puoliintumisajalla. Laske ekvivalenttiannoksen kertymä.

TAULUKKO 8.1 Annosnopeuden lisäskertoimet isotrooppiselle piste-
lähteelle.

Väli- aine	Energia, MeV							
	1	2	4	7	10	15	20	
Vesi	0.255	3.09	7.14	23.0	72.9	166.0	456.0	982.0
	0.5	2.52	5.14	14.3	38.8	77.6	178.0	334.0
	1.0	2.13	3.71	7.68	16.2	27.1	50.4	82.2
	2.0	1.83	2.77	4.88	8.46	12.4	19.5	27.7
	3.0	1.69	2.42	3.91	6.23	8.63	12.8	17.0
	4.0	1.58	2.17	3.34	5.13	6.94	9.97	12.9
	6.0	1.46	1.91	2.76	3.99	5.18	7.09	8.85
	8.0	1.38	1.74	2.40	3.34	4.25	5.66	6.95
	10.0	1.33	1.63	2.19	2.97	3.72	4.90	5.98
	Lyijy	0.5	1.24	1.42	1.69	2.00	2.27	2.65
1.0		1.37	1.69	2.26	3.02	3.74	4.81	5.86
2.0		1.39	1.76	2.51	3.66	4.84	6.87	9.00
3.0		1.34	1.68	2.43	3.75	5.30	8.44	12.3
4.0		1.27	1.56	2.25	3.61	5.44	9.80	16.3
5.1		1.21	1.46	2.08	3.44	5.55	11.7	23.6
6.0		1.18	1.40	1.97	3.34	5.69	13.8	32.7
8.0		1.14	1.30	1.74	2.89	5.07	14.1	44.6
10.0		1.11	1.23	1.58	2.52	4.34	12.5	39.2

TAULUKKO 8.2 Annosnopeuden lisäskertoimet fotonisuhkulle.

Väli- aine	Energia, MeV						
	1	2	4	7	10	15	20
Vesi.	0.5	2.63	4.29	9.05	20.0	35.9	74.9
	1.0	2.26	3.39	6.27	11.5	18.0	30.8
	2.0	1.84	2.63	4.28	6.96	9.87	14.4
	3.0	1.69	2.31	3.57	5.51	7.48	10.8
	4.0	1.58	2.10	3.12	4.63	6.19	8.54
	6.0	1.45	1.86	2.63	3.76	4.86	6.78
	8.0	1.36	1.69	2.30	3.16	4.00	5.47
	10.0	1.31	1.63	2.18	2.80	3.40	4.20
Lyijy	0.5	1.24	1.39	1.63	1.87	2.08	2.27
	1.0	1.38	1.68	2.18	2.80	3.40	4.20
	2.0	1.40	1.76	2.41	3.36	4.35	5.94
	3.0	1.36	1.71	2.42	3.55	4.82	7.18
	4.0	1.28	1.56	2.18	3.29	4.69	7.70
	6.0	1.19	1.40	1.87	2.97	4.69	9.53
	8.0	1.14	1.30	1.69	2.61	4.18	9.08
	10.0	1.11	1.24	1.54	2.27	3.54	7.70

LIITE VII

Eräiden radionuklidien säteilynopeusvakiot Γ ja kermanopeusvakiot Γ_s .

Isotooppi	$\Gamma \cdot 10^9 \times \frac{(C/kg)m^2}{MBqh}$	$\Gamma_s \cdot 10^9 \times \frac{Gym^2}{MBqh}$
²² Na	8.36	284
²⁴ Na	12.8	435
⁴² K	1.39	47.2
⁵¹ Cr	0.111	3.77
⁶⁰ Co	9.19	312
⁶⁵ Zn	1.88	63.9
¹²² Sb	1.67	56.7
¹²⁵ I	0.487	16.5
¹³¹ I	1.53	52.0
¹³² I	9.33	317
¹³⁴ Cs	6.33	215
¹³⁷ Cs	2.30	78.1
¹⁹² Ir	3.34	113
¹⁹⁸ Au	1.60	54.4
²⁰³ Hg	0.905	30.7
²²⁶ Ra ¹	5.78	196
²⁴¹ Am	0.11	3.8

¹Hajoamistuotteinen, 0.5 mm Pt-kuori.

Säteilynopeusvakio ("gammavakio") voidaan myös arvioida likimääräislausekkeesta

$$\Gamma \approx 3.65 \times 10^9 \sum_i f_i E_i \frac{(C/kg)m^2}{MBqh}$$

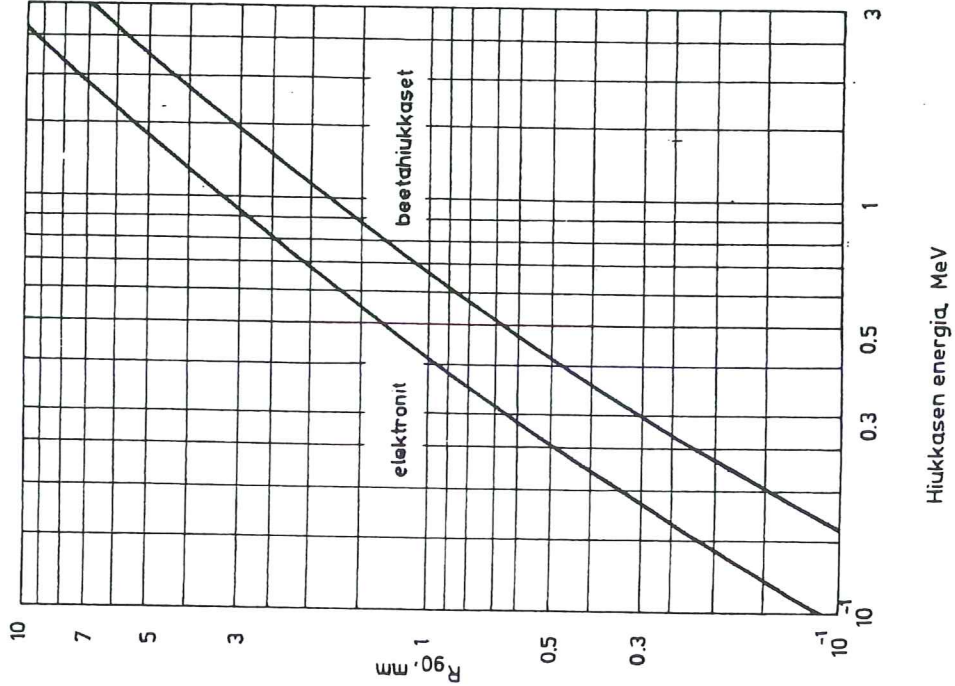
Tässä f_i on se osuus hajoamisista, jonka tuloksena syntyy gammavakantti energialla E_i (MeV). Lauseketta voidaan käyttää 60 keV:stä 2 MeV:iin.

Kermanopeusvakiot on laskettu säteilynopeusvakioista lausekkeesta $\Gamma_s \approx \Gamma(W/e)$, jossa W/e on keskimääräinen energiahäviö ilmassa muodostunutta ioniparia ja alkeisvarausta kohti. Lauseke on likimääräinen, koska siinä ei ole otettu huomioon sekundaarielektronien energiasta jarrutussäteilynä pakenevaa pientä osuutta, joka suurenee gammavakantin energian funktiona. Energiahäviö on noin 0.5 % 2 MeV:n energialla. $W/e \approx 34 J/C$, joten säteilytys 1 C/kg vastaa kermaa 34 Gy.

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

$$R_e = \begin{cases} 0.412E^{1.254} - 0.0954 \ln E, & \text{kun } 0.01 \leq E \leq 2.5 \text{ MeV} \\ 0.53E - 0.106, & \text{kun } E > 2.5 \text{ MeV ja } R_e > 1.2 \text{ g cm}^{-2}. \end{cases} \quad (3.39)$$

Tässä beetasäteilyn maksimienergiaa on merkitty $E_{\text{il}}(E)$ (MeV).



KUVA 3.7 R_{90} vedessä monoenergisille elektroneille, joiden energia on E_{max} ja beetasäteilylle, jonka maksimienergia on E_{max} . R_{90} on pisteilähdettä ympäröivän pallon säde, jonka sisälle 90 % lähteen säteilyenergiaa absorboituu. ICRUn raportti 32.

TAULUKKO C1 (jatkuu) Ohje ST 7.3
Suun tai hengityksen kautta kehoon joutuneiden radionuklidien annosuuntokertoimen $h(g \text{ arvot (Sv·Bq}^{-1})$)
säteilytyötä tekeville työtekijöille.

Nuklidi	Fysikaalinen puoliintumisaika	Keskis- absorptio- kertoimen	Hengityksen kautta		Suun kautta	
			$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$	$h(g)$
Eu-157	15,1 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	3,2 · 10 ⁻¹⁰	4,4 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Eu-158	0,765 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	4,8 · 10 ⁻¹¹	7,5 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Gadolinium						
Gd-145	0,382 h	F	5,0 · 10 ⁻⁴	1,5 · 10 ⁻¹¹	2,6 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Gd-146	48,3 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,1 · 10 ⁻¹¹	3,5 · 10 ⁻¹¹	4,4 · 10 ⁻¹¹
Gd-147	1,59 d	F	5,0 · 10 ⁻⁴	4,4 · 10 ⁻⁹	5,2 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Gd-148	93,0 a	F	5,0 · 10 ⁻⁴	5,0 · 10 ⁻⁹	4,6 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Gd-149	9,40 d	F	5,0 · 10 ⁻⁴	2,7 · 10 ⁻¹⁰	4,5 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Gd-151	120 d	F	5,0 · 10 ⁻⁴	4,1 · 10 ⁻¹⁰	5,9 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Gd-152	1,08 · 10 ¹⁴ a	F	5,0 · 10 ⁻⁴	2,5 · 10 ⁻⁹	3,0 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Gd-153	242 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁻⁹	7,2 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Gd-159	18,6 h	F	5,0 · 10 ⁻⁴	2,6 · 10 ⁻¹⁰	4,5 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Terbitium						
Tb-147	1,65 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	7,9 · 10 ⁻¹¹	1,2 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-149	4,15 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	4,3 · 10 ⁻⁹	3,1 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-150	3,27 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁻¹⁰	1,8 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-151	17,6 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,3 · 10 ⁻¹⁰	3,3 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-153	2,34 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	7,0 · 10 ⁻¹⁰	2,4 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-154	21,4 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	3,8 · 10 ⁻¹⁰	6,0 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-155	5,32 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,1 · 10 ⁻¹⁰	2,5 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-156	5,34 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,2 · 10 ⁻⁹	1,4 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-156m	1,02 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,0 · 10 ⁻¹⁰	2,3 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-157	5,00 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	9,2 · 10 ⁻¹¹	1,3 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-158	1,50 · 10 ² a	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁻¹⁰	7,9 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-160	72,3 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	4,3 · 10 ⁻⁹	3,0 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Tb-161	6,91 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	6,6 · 10 ⁻⁹	1,1 · 10 ⁻⁸	5,0 · 10 ⁻⁴
Dyprosium						
Dy-155	10,0 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	8,0 · 10 ⁻¹¹	1,2 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Dy-157	8,10 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	3,2 · 10 ⁻¹¹	5,5 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Dy-159	1,44 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	3,5 · 10 ⁻¹⁰	2,5 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Dy-165	2,33 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	6,1 · 10 ⁻¹¹	8,7 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Dy-166	3,40 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,8 · 10 ⁻⁹	1,8 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴
Holmium						
Ho-155	0,800 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,0 · 10 ⁻¹¹	3,2 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-157	0,210 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	4,5 · 10 ⁻¹²	7,6 · 10 ⁻¹²	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-159	0,550 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	5,0 · 10 ⁻¹²	1,0 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-161	2,50 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	6,3 · 10 ⁻¹²	1,0 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-162	0,250 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,9 · 10 ⁻¹²	4,5 · 10 ⁻¹²	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-162m	1,13 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,2 · 10 ⁻¹¹	3,3 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-164	0,483 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	8,6 · 10 ⁻¹²	1,3 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-164m	0,625 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,2 · 10 ⁻¹¹	1,6 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-166	1,12 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	6,6 · 10 ⁻¹⁰	8,3 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-166m	1,20 · 10 ² a	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁻⁷	7,8 · 10 ⁻⁸	5,0 · 10 ⁻⁴
Ho-167	3,10 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	7,1 · 10 ⁻¹¹	1,0 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Erbium						
Er-161	3,24 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	5,1 · 10 ⁻¹¹	8,5 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Er-165	10,4 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	8,3 · 10 ⁻¹²	1,4 · 10 ⁻¹¹	5,0 · 10 ⁻⁴
Er-169	9,30 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	9,8 · 10 ⁻¹²	9,2 · 10 ⁻¹²	5,0 · 10 ⁻⁴
Er-171	7,52 h	M	5,0 · 10 ⁻⁴	2,2 · 10 ⁻¹⁰	3,0 · 10 ⁻¹⁰	5,0 · 10 ⁻⁴
Er-172	2,05 d	M	5,0 · 10 ⁻⁴	1,1 · 10 ⁻⁹	1,2 · 10 ⁻⁹	5,0 · 10 ⁻⁴

LIITE IV

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

Fotonin energia, MeV	Vesi	Ilma	Luu	Lihäs
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).

LIITE III

Matkavaimennuskerroin μ , cm^{-1} .

Fotonin energia, MeV	C	Al	Fe	Cu	Pb	Ilma	Vesi	Betoni
0.1	0.340	0.435	2.72	3.80	59.7	1.99×10^{-4}	0.171	0.397
0.15	0.303	0.362	1.445	1.830	20.8	1.75×10^{-4}	0.151	0.326
0.2	0.277	0.324	1.090	1.309	10.15	1.59×10^{-4}	0.137	0.291
0.3	0.240	0.278	0.838	0.960	4.02	1.38×10^{-4}	0.119	0.251
0.5	0.196	0.227	0.655	0.730	1.64	1.12×10^{-4}	0.097	0.204
0.8	0.159	0.185	0.525	0.581	0.945	9.13×10^{-5}	0.079	0.166
1.0	0.143	0.166	0.470	0.520	0.771	8.20×10^{-5}	0.071	0.149
1.5	0.116	0.135	0.383	0.424	0.579	6.68×10^{-5}	0.058	0.122
2	0.100	0.117	0.335	0.372	0.516	5.74×10^{-5}	0.049	0.105
3	0.080	0.096	0.285	0.318	0.476	4.62×10^{-5}	0.040	0.085
5	0.061	0.076	0.247	0.281	0.482	3.55×10^{-5}	0.030	0.067
8	0.048	0.065	0.233	0.270	0.518	2.87×10^{-5}	0.024	0.057
10	0.044	0.062	0.232	0.271	0.552	2.64×10^{-5}	0.022	0.054
Tietyt $g cm^{-3}$	2.25	2.7	7.9	8.9	11.3	1.29×10^{-3}	1	2.35

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

National Bureau of Standards 1952. Report No. 1003 (Al, Fe, Cu, Pb, betoni).