

**BIJLAGE bij Examen
Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van
coördinerend deskundige**

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC

examendatum:
12 december 2022
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

Instructie:

- ❑ Wanneer u andere gegevens gebruikt dan in deze bijlage zijn genoemd, vermeld dan de herkomst!
- ❑ Deze bijlage omvat 14 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

INHOUDSOPGAVE

Bladzijde

- 3-4 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 38 en 39, gegevens ³⁶Cl
- 5 ICRP 33 appendix figuur 2, Output röntgenbuis op 1 meter afstand voor diverse buisspanningen en filtraties
- 6 Energieresponscurve voor de gebruikte pancake, gekalibreerd op ¹³⁷Cs
- 7 Detectierendement afneembare besmettingsdetector
- 8 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 164, gegevens ¹³¹I
- 9 Diepte-dosis-curve voor I-131
- 10-11 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 188 en 189, gegevens ¹⁴⁷Nd
- 12 Halveringsdikte van diverse afschermingsmaterialen voor smalle-bundel fotonenstraling (uit de Karlsruher Nuklidkarte, 1998)
- 13 Voorgeschreven etikettering ADR klasse 7
- 14 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 190, gegevens ¹⁴⁷Pm

³⁶Cl

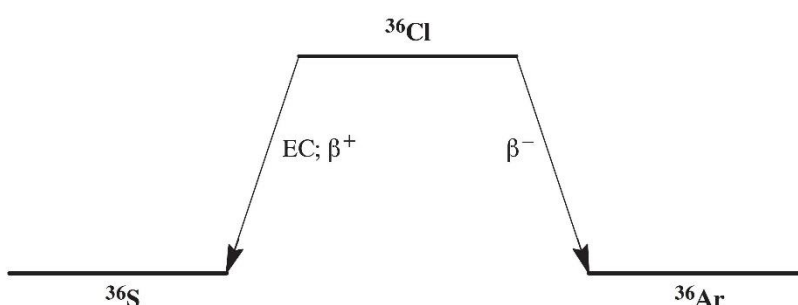
Z = 17

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 3,01 \times 10^5 \text{ j} = 9,50 \times 10^{12} \text{ s}$$

$$\lambda = 7,30 \times 10^{-14} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	0,981	279 710

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,0 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,0 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{\text{sp}} = 1,22 \times 10^9 \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^4 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-11} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 8,2 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 10 \text{ TBq}$
	$A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ³⁶Cl wordt geproduceerd door vangst van thermische neutronen in chloor. Het nuclide wordt toegepast als beta-ijkbron. Een speciale toepassing werd gevonden bij de reconstructie van de neutronenfluentie ten gevolge van de kernexplosies in Hiroshima en Nagasaki.

N = 19

³⁶Cl

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat chloor zich vanuit het bloed homogeen over alle organen/weefsels verdeelt.

De biologische halveringstijden voor de alle organen/weefsels wordt gesteld op 10 dagen.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie			
Alle verbindingen	$f_1 = 1$		
Inhalatie			
Chloride van H, Li, Na, K, Rb en Cs	$f_1 = 1$		Klasse F
Overige chloriden	$f_1 = 1$		Klasse M

Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)

	Ingestie	Inhalatie	Inhalatie	
	$f_1 = 1$	F	M	
$e(50)(w)$	$9,3 \times 10^{-10}$	$4,9 \times 10^{-10}$	$5,1 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$1,1 \times 10^9$	$2,0 \times 10^9$	$2,0 \times 10^8$	Bq
$e(50)(b)$	$9,3 \times 10^{-10}$	$3,4 \times 10^{-10}$	$6,9 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$1,1 \times 10^9$	$2,9 \times 10^9$	$1,4 \times 10^8$	Bq

Gegevens voor urine-analyse

Na eenmalige inname

Tijd (d)	Urine-uitscheidingstempo (Bq/d per Bq inname)		
1	$6,8 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-2}$
2	$6,3 \times 10^{-2}$	$3,0 \times 10^{-2}$	$2,6 \times 10^{-2}$
3	$5,7 \times 10^{-2}$	$2,9 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$
5	$5,0 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$
7	$4,3 \times 10^{-2}$	$2,2 \times 10^{-2}$	$2,0 \times 10^{-2}$

ICRP 33 appendix figuur 2

32

REPORT OF COMMITTEE 3

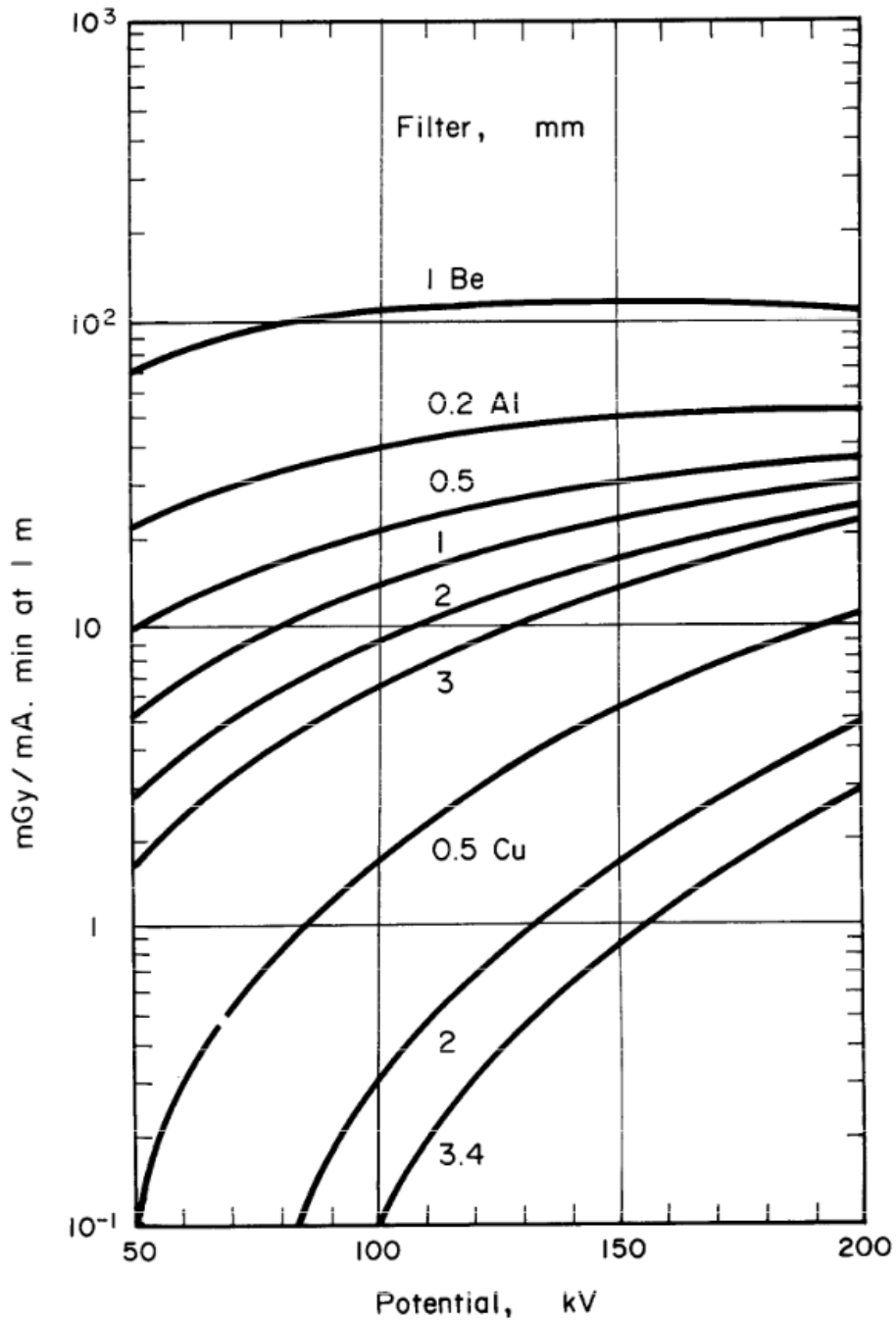
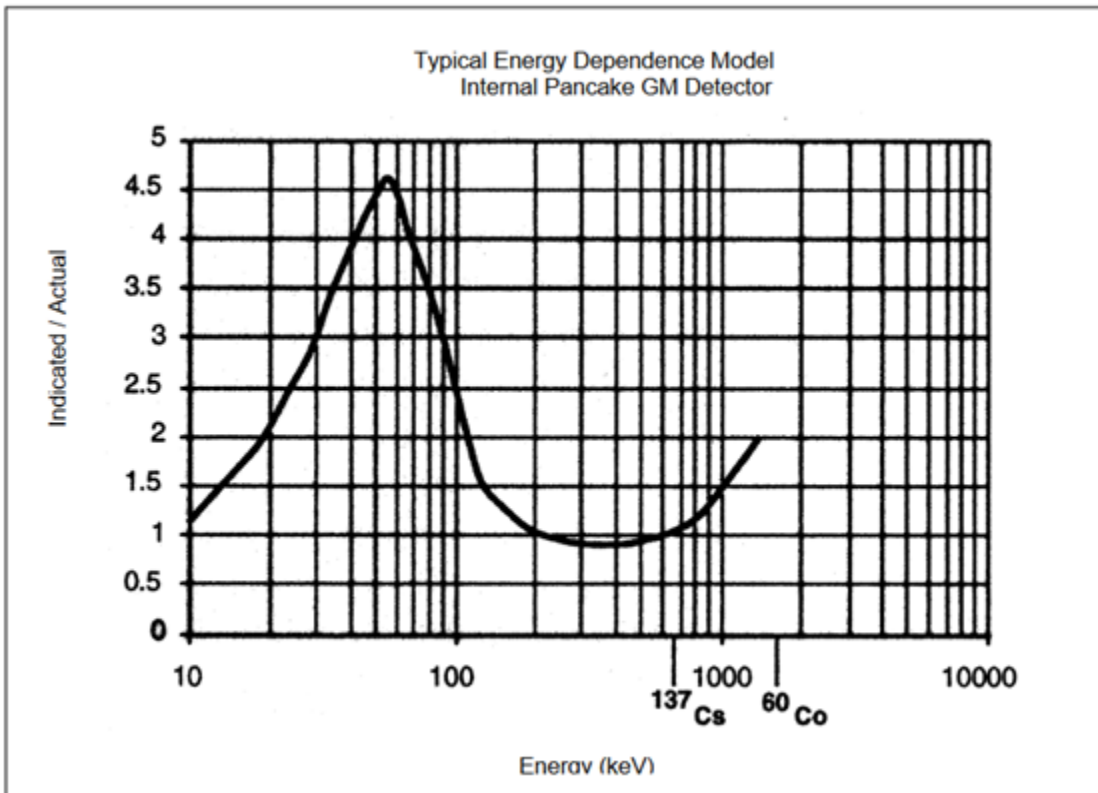


Fig. 2. Output of constant potential x-ray generator at 1 m target distance for various beam filtrations and a tungsten reflection target. The 1 mm beryllium is the tube window.

Energieresponscurve voor de gebruikte pancake, gekalibreerd op ^{137}Cs



Detectierendement afneembare besmettingsdetector

Radionuclide efficiency for hand detector (calibrated by activity)					
Am-241 α	approx.	20%	K-40	approx.	30%
Au-198	approx.	23%	P-32	approx.	25%
C-14	approx.	13%	Pu-238 α	approx.	12%
Cl-36	approx.	42%	Re-188	approx.	20%
Co-57	approx.	8%	S-35	approx.	5%
Co-60	approx.	30%	Sr-90 / Y-90 (based on Sr-90)	approx.	93%
I-123	approx.	7%	Tc-99 m	approx.	4%
I-125	approx.	12%	Tl-201	approx.	6%
I-131	approx.	20%	Tl-204	approx.	23%

Detectierendement van de afneembare besmettingsdetector (= handdetector) in cps/dps, uitgedrukt in %.

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 164 , gegevens ¹³¹I

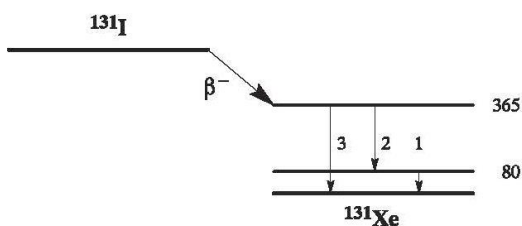
131I
Z = 53

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 8,021 \text{ d} = 6,93 \times 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,00 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	0,894	192 606
γ_1	0,026	80
ce K γ_1	0,036	46
γ_2	0,061	284
γ_3	0,812	365

Bronconstanten

Kernatempo in lucht	$k = 0,052 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosis-equivalenttempo	$h = 0,066 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 4,60 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,2 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 3 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,7 \text{ TBq}$

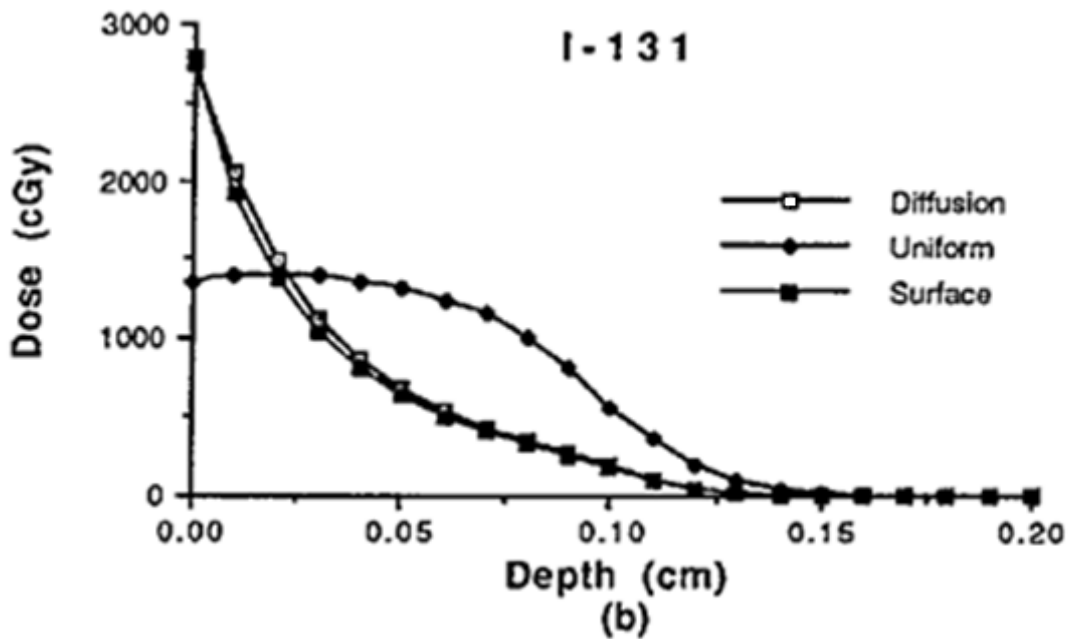
Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹³¹I is een belangrijk splijttingsproduct. Het wordt veelvuldig toegepast in de diagnostische en therapeutische nucleaire geneeskunde.

Diepte-dosis-curve voor I-131

Diepte-dosis-curve voor I-131, waarbij drie mogelijke activiteitsverdelingen in weefsel zijn gesimuleerd:

- : Radioactiviteit gediffundeerd vanaf het weefseloppervlak met een exponentiële activiteitsgradiënt.
- ◆: Radioactiviteit uniform verdeeld door het weefsel
- : Radioactiviteit op het weefseloppervlak



Gebaseerd op: Dosimetry of radiolabeled antibodies, Roeske et al., Medical Physics, Vol. 20, No. 2, Pt. 2, Mar/Apr 1993. (https://www.researchgate.net/figure/Central-axis-depth-dose-curves-for-a-Y-90-b-I-131-and-c-At-211-For-each_fig5_14706073)

Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 188 en 189, gegevens ¹⁴⁷Nd

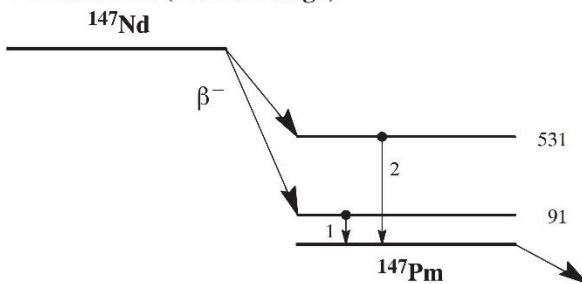
¹⁴⁷Nd Z = 60

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 10,98 \text{ d} = 9,49 \times 10^5 \text{ s}$

$\lambda = 7,31 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$	Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-_1	0,809	264 805	K_α	0,364	38
β^-_2	0,153	106 365	K_β	0,090	44
γ_1	0,279	91	LMM	0,255	4
ce K γ_1	0,485	46	LMX	0,150	6
γ_2	0,131	531	MXY	0,818	1

Voor straling van dochter ¹⁴⁷Pm ($T_{1/2} = 2,6 \text{ j}$): zie aldaar

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,021 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,029 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 2,99 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,6 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 6 \text{ TBq}$
	$A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹⁴⁷Nd is een splijttingsproduct.

N = 87

¹⁴⁷Nd

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat neodymium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 10% directe uitscheiding, 45% naar lever en 45% naar bot.

De biologische halveringstijd voor deze organen/weefsels wordt gesteld op 3500 dagen.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 5 \times 10^{-4}$

Inhalatie

Hydroxide, oxide,
carbide, fluoride $f_1 = 5 \times 10^{-4}$ Klasse S
Overige verbindingen $f_1 = 5 \times 10^{-4}$ Klasse M

Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)

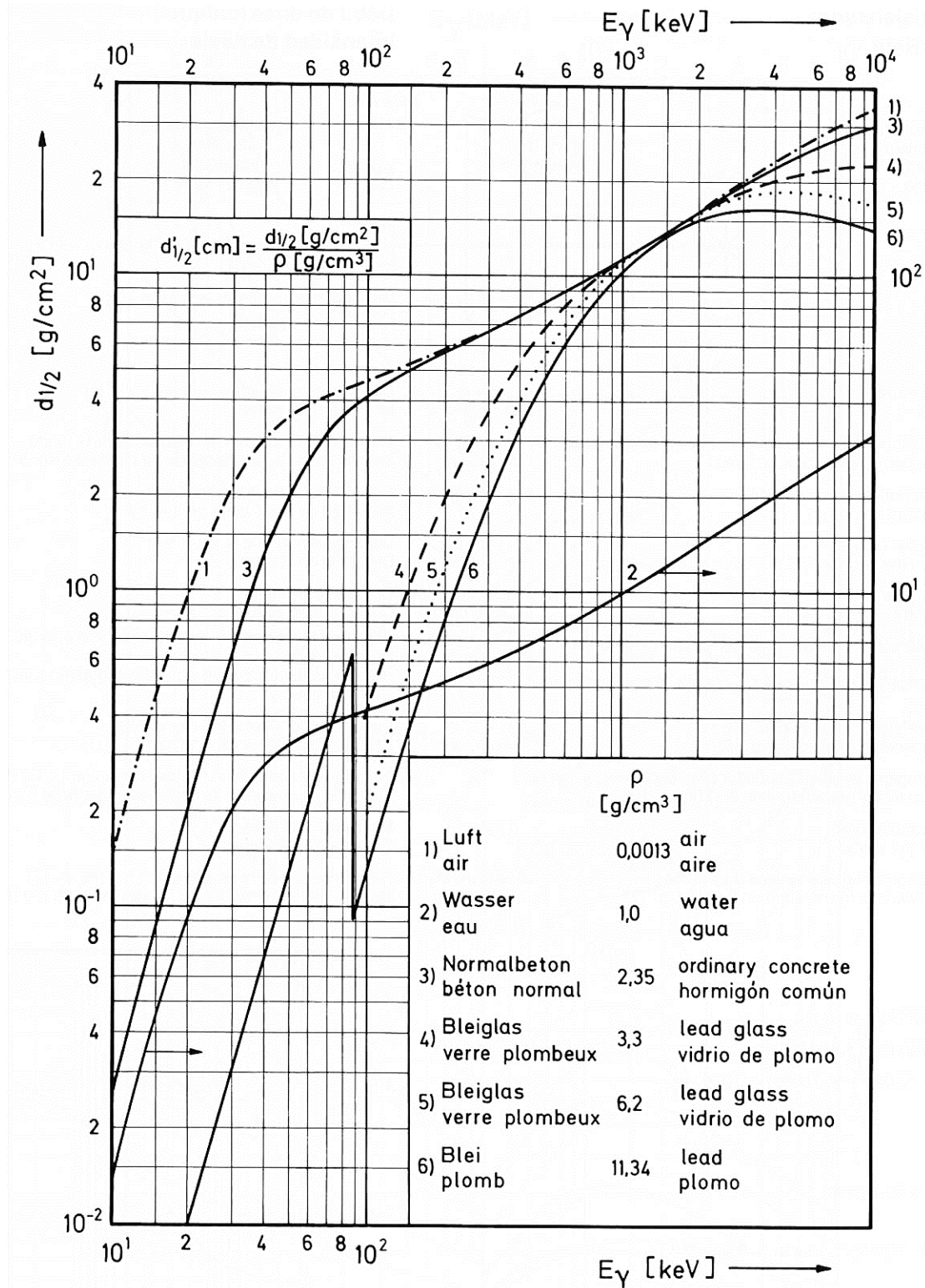
	Ingestie $f_1 = 5 \times 10^{-4}$	Inhalatie M	Inhalatie S	
$e(50)(w)$	$1,1 \times 10^{-9}$	$1,9 \times 10^{-9}$	$2,1 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$9,1 \times 10^8$	$5,3 \times 10^8$	$4,8 \times 10^8$	Bq
$e(50)(b)$	$1,1 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-9}$	$2,3 \times 10^{-9}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$9,1 \times 10^8$	$5,0 \times 10^8$	$4,3 \times 10^8$	Bq

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname




Tijd (d)	Lichaamsactiviteit (Bq per Bq inname)		
0,25	$9,7 \times 10^{-1}$	$7,3 \times 10^{-1}$	$7,3 \times 10^{-1}$
1	$6,7 \times 10^{-1}$	$4,6 \times 10^{-1}$	$4,6 \times 10^{-1}$
2	$2,9 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$2,2 \times 10^{-1}$
3	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$
5	$1,4 \times 10^{-2}$	$6,6 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-2}$
7	$1,8 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-2}$	$4,0 \times 10^{-2}$

Halveringsdikte van diverse afschermingsmaterialen voor smalle-bundel fotonenstraling (uit de Karlsruher Nuklidkarte, 1998)



Halveringsdikte van diverse afschermingsmaterialen voor smalle-bundel fotonenstraling (uit de Karlsruher Nuklidkarte, 1998)

Voorgeschreven etikettering ADR klasse 7

klasse	sticker	max. dosistempo op oppervlak	maximale transportindex
I-wit		5 μ Sv/h	
II-geel		0,5 <u>mSv/h</u>	1,0 (10 μ Sv/h)
III-geel		2 <u>mSv/h</u>	10 (100 μ Sv/h)

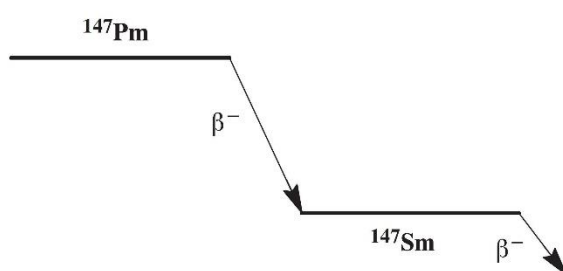
¹⁴⁷Pm **Z = 61**

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 2,62 \text{ j} = 8,27 \times 10^7 \text{ s}$

$\lambda = 8,38 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-_1	1,000	62 225

De activiteit van dochter ¹⁴⁷Sm ($T_{1/2} = 1,06 \times 10^{11} \text{ j}$) is te verwaarlozen.

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 3,8 \times 10^{-7} \text{ }\mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 6,0 \times 10^{-7} \text{ }\mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,44 \times 10^{13} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^4 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{huid} = 1 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,9 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 40 \text{ TBq}$
	$A_2 = 2 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹⁴⁷Pm is een splijttingsproduct. Het wordt toegepast als beta-referentiebron, in diktemeters en het is toegelaten in lichtgevende wijzers van polshorloges.