

BIJLAGE bij
Examen
Stralingsbeschermingsdeskundige op het niveau van
coördinerend deskundige

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN/LUMC
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboudumc	RUMC
TU Eindhoven	TU/e

examendatum:
14 mei 2018
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 10 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

INHOUDSOPGAVE

Pagina

- 3 Vervalschema $^{166}\text{Holmium}$
- 4 Massieke verzwakkings- en energieabsorptiedoorsneden in lood
(dichtheid = $11,34 \text{ g/cm}^2$)
- 5 Categorie-indeling van transportverpakkingen
- 6 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz.
26, gegevens ^{18}F
- 7 Transmissiefactoren voor brede bundel 511-keV-fotonen in lood, beton
en ijzer; Madsen et al.: AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding
- 8 Verstrooiingsfractie van kerma
- 9-10 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz.
164-165, gegevens ^{131}I

Vervalschema ¹⁶⁶Holmium

67-HOLMIUM-166

Half-life = 26.80 Hours

Nov-1992

Decay Mode: beta-

Radiations	y(i) (Bq-s) ⁻¹	E(i) (MeV)	y(i)×E(i)
beta- 4	9.50×10 ⁻⁰³	1.149×10 ⁻⁰¹ *	1.09×10 ⁻⁰³
beta- 6	4.87×10 ⁻⁰¹	6.509×10 ⁻⁰¹ *	3.17×10 ⁻⁰¹
beta- 7	5.00×10 ⁻⁰¹	6.936×10 ⁻⁰¹ *	3.47×10 ⁻⁰¹
gamma 1	6.71×10 ⁻⁰²	8.057×10 ⁻⁰²	5.41×10 ⁻⁰³
ce-K, gamma 1	1.15×10 ⁻⁰¹	2.309×10 ⁻⁰²	2.65×10 ⁻⁰³
ce-L, gamma 1	2.65×10 ⁻⁰¹	7.082×10 ⁻⁰² a	1.88×10 ⁻⁰²
ce-M, gamma 1	6.44×10 ⁻⁰²	7.837×10 ⁻⁰² a	5.05×10 ⁻⁰³
ce-N+, gamma 1	1.76×10 ⁻⁰²	8.012×10 ⁻⁰² a	1.41×10 ⁻⁰³
gamma 4	1.94×10 ⁻⁰⁴	6.740×10 ⁻⁰¹	1.31×10 ⁻⁰⁴
gamma 5	1.31×10 ⁻⁰⁴	7.053×10 ⁻⁰¹	9.24×10 ⁻⁰⁵
gamma 6	1.19×10 ⁻⁰⁴	7.859×10 ⁻⁰¹	9.35×10 ⁻⁰⁵
gamma 8	9.30×10 ⁻⁰³	1.379	1.28×10 ⁻⁰²
gamma 12	1.87×10 ⁻⁰³	1.582	2.96×10 ⁻⁰³
gamma 13	1.20×10 ⁻⁰³	1.662	1.99×10 ⁻⁰³
gamma 14	2.77×10 ⁻⁰⁴	1.750	4.85×10 ⁻⁰⁴
gamma 15	8.50×10 ⁻⁰⁵	1.830	1.56×10 ⁻⁰⁴
Kalpha X-ray	5.48×10 ⁻⁰²	4.913×10 ⁻⁰²	2.69×10 ⁻⁰³
Kalpha2 X-ray	3.09×10 ⁻⁰²	4.822×10 ⁻⁰²	1.49×10 ⁻⁰³
Kbeta X-ray	2.24×10 ⁻⁰²	5.570×10 ⁻⁰² *	1.25×10 ⁻⁰³
L X-ray	7.84×10 ⁻⁰²	6.950×10 ⁻⁰³ *	5.45×10 ⁻⁰⁴
Auger-L	2.83×10 ⁻⁰¹	5.500×10 ⁻⁰³ *	1.56×10 ⁻⁰³
Listed X, gamma, and gamma [±] Radiations			3.01×10 ⁻⁰²
Omitted X, gamma, and gamma [±] Radiations**			4.03×10 ⁻⁰⁵
Listed beta, ce, and Auger Radiations			6.94×10 ⁻⁰¹
Omitted beta, ce, and Auger Radiations**			4.69×10 ⁻⁰⁴
Listed Radiations			7.24×10 ⁻⁰¹
Omitted Radiations**			5.10×10 ⁻⁰⁴

* Average Energy (MeV).

^a Maximum Energy (MeV) for subshell.

** Each omitted transition contributes <0.100% to Sum of y(i)×E(i).

Erbium-166 Daughter is stable.

Massieke verzwakkings- en energieabsorptiedoorsneden in lood(dichtheid = 11,34 g/cm³)

Energie (MeV)	μ/ρ (cm²/g)	μ_{en}/ρ (cm²/g)
0,005	767	747
0,010	136,6	130,7
0,05	7,71	6,54
0,10	5,78	2,28
0,5	0,1614	0,0951
1,5	0,0518	0,0271
2	0,0455	0,0240

Categorie-indeling van transportverpakkingen

Pagina 55,56 en 59 van *Vervoer van radioactieve stoffen over de weg in Nederland en België*

Categorieën colli en oververpakkingen*Categorie I–WIT*

Hiertoe worden gerekend *colli* en *oververpakkingen* waarvan het *stralingsniveau* voldoet aan de eis dat het dosistempo

- niet groter is dan 5 microsievert per uur op het oppervlak, en bovendien
- de *transportindex* gelijk is aan 0, dus het dosistempo op 1 meter afstand van het oppervlak niet groter is dan 0,5 microsievert per uur.

Categorie II–GEEL

Hiertoe worden gerekend *colli* en *oververpakkingen* waarvan het *stralingsniveau* voldoet aan de eisen dat het dosistempo op het oppervlak

- groter is dan 5 microsievert per uur en niet groter dan 500 microsievert per uur en/of
- waarvan de *transportindex* groter is dan 0, en niet groter dan 1, dus het dosistempo op 1 meter afstand van het oppervlak groter is dan 0,5 microsievert per uur, en niet groter dan 10 microsievert per uur.

Categorie III–GEEL

Hiertoe worden gerekend *colli* en *oververpakkingen* waarvan het *stralingsniveau* voldoet aan de eisen dat het dosistempo op het oppervlak

- groter is dan 500 microsievert per uur en niet groter dan 2 millisievert per uur en/of
- waarvan de *transportindex* groter is dan 1, en niet groter dan 10, dus het dosistempo op 1 meter afstand van het oppervlak groter is dan 10 microsievert per uur, en niet groter dan 100 microsievert per uur.

Stralingscondities		
Transportindex	Maximum <i>stralingsniveau</i> op enig punt op het oppervlak	Categorie
0	Niet meer dan 5 μSv per uur	I–WIT
Groter dan 0 maar niet groter dan 1	Meer dan 5 μSv per uur maar niet meer dan 500 μSv per uur	II–GEEL
Groter dan 1 maar niet groter dan 10	Meer dan 500 μSv per uur maar niet meer dan 2 mSv per uur	III–GEEL

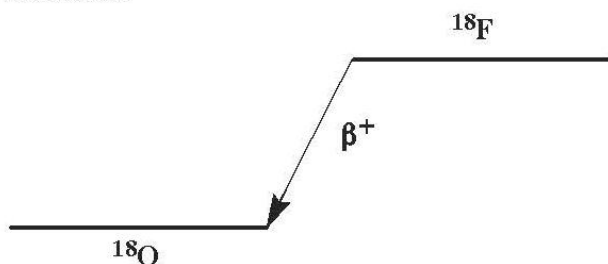
¹⁸F
Z = 9

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 109,70 \text{ min} = 6,582 \times 10^3 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,05 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
β^+	1,000	250 634
γ^\pm	2,000	511

Bronconstanten

Kermtempo in lucht	$k = 0,135 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,166 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,52 \times 10^{18} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^1 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{huid} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,4 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 1 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹⁸F is een cyclotronproduct. Het nuclide wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde voor het maken van afbeeldingen met behulp van positronen-emissie-tomografie (PET).

Transmissiefactoren voor brede bundel 511-keV-fotonen in lood, beton en ijzer

Madsen et al.: AAPM Task Group 108: PET and PET/CT Shielding

TABLE IV. Broadbeam transmission factors at 511 keV in lead, concrete, iron.

Thickness ^{a, b}	Transmission Factors		
	Lead	Concrete ^c	Iron
0	1.0000	1.0000	1.0000
1	0.8912	0.9583	0.7484
2	0.7873	0.9088	0.5325
3	0.6905	0.8519	0.3614
4	0.6021	0.7889	0.2353
5	0.5227	0.7218	0.1479
6	0.4522	0.6528	0.0905
7	0.3903	0.5842	0.0542
8	0.3362	0.5180	0.0319
9	0.2892	0.4558	0.0186
10	0.2485	0.3987	0.0107
12	0.1831	0.3008	0.0035
14	0.1347	0.2243	0.0011
16	0.0990	0.1662	0.0004
18	0.0728	0.1227	0.0001
20	0.0535	0.0904	
25	0.0247	0.0419	
30	0.0114	0.0194	
40	0.0024	0.0042	
50	0.0005	0.0009	

^aThickness in mm for lead.

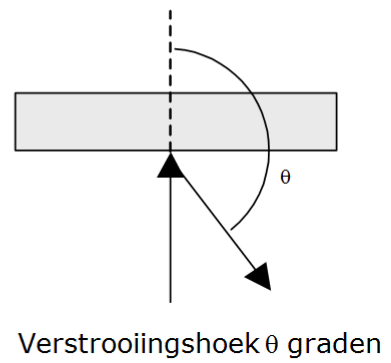
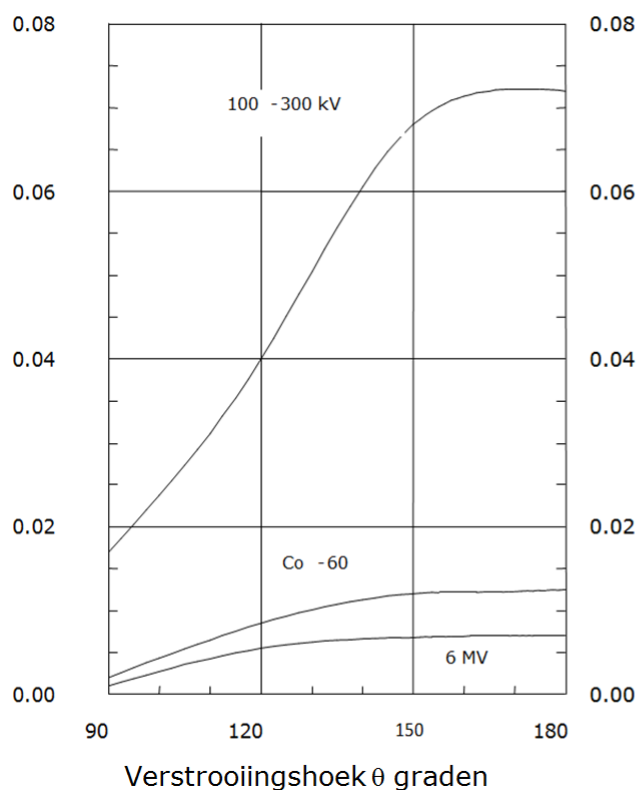
^bThickness in cm for concrete and iron.

^cConcrete density=2.35 g/cm³.

The Monte Carlo transmission data have been fitted to the model proposed by Archer *et al.* (Ref. 10): $B = \{(1 + (\beta/\alpha))e^{\alpha\gamma x} - (\beta/\alpha)\}^{(1/\gamma)}$. This can be inverted to obtain x (material thickness) as a function of transmission (B): $x = (1/\alpha\gamma)\ln\{[B^{-\gamma} + (\beta/\alpha)]/[1 + (\beta/\alpha)]\}$.

Verstrooiingsfractie van kerma

Op 1 meter afstand van bestraald betonoppervlak in procent per 100 cm² bestraald betonoppervlak



Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3^e druk 2015),
blz. 164-165, gegevens ^{131}I

^{131}I

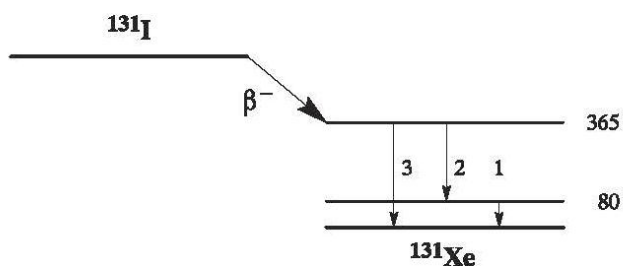
$Z = 53$

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

Kermatempo in lucht	$k = 0,052 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,066 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

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 ^{131}I is een belangrijk splijtingsproduct. Het wordt veelvuldig toegepast in de diagnostische en therapeutische nucleaire geneeskunde.

N = 78

131I

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat jodium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 70% directe uitscheiding en 30% naar de schildklier. Jodium in de schildklier verblijft aldaar met een biologische halveringstijd van 80 dagen, van waaruit het in de vorm van organisch jodium homogeen over het lichaam wordt verdeeld. Het verblijf in andere organen/weefsels dan de schildklier geschiedt met een halveringstijd van 12 dagen. Een tiende van het organisch jodium wordt onmiddellijk uitgescheiden via de faeces, terwijl de rest (90%) terugkeert in het transfercompartiment. Zodoende wordt de biologische halveringstijd in de schildklier effectief gelijk aan 90 dagen.

N.B. Dit model geldt niet voor patiënten, zie pagina 14.

Ingestie- en longzuiveringsklassen**Ingestie**

Alle verbindingen $f_1 = 1$

Inhalatie

Damp (I ₂)	$f_1 = 1$	Klasse SR-1
Damp (CH ₃ I)	$f_1 = 1$	Klasse SR-1 70% depositie
Overige verbindingen	$f_1 = 1$	Klasse F

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

	Ingestie $f_1 = 1$	Inhalatie F	Inhalatie I ₂	Inhalatie CH ₃ I	
$e(50)(w)$	$2,2 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	$2,0 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$4,5 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	$5,0 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	Bq
$e(50)(b)$	$2,2 \times 10^{-8}$	$7,6 \times 10^{-9}$	$2,0 \times 10^{-8}$	$1,5 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$4,5 \times 10^7$	$1,3 \times 10^8$	$5,0 \times 10^7$	$6,7 \times 10^7$	Bq

Gegevens voor schildkliertelling (na eenmalige inname)

Tijd (d)	Activiteit in schildklier (Bq per Bq inname)			
	$f_1 = 1$	F	I ₂	CH ₃ I
0,25	$6,0 \times 10^{-2}$	$5,2 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,0 \times 10^{-1}$
1	$2,4 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$2,3 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-1}$
2	$2,5 \times 10^{-1}$	$1,2 \times 10^{-1}$	$2,2 \times 10^{-1}$	$1,7 \times 10^{-1}$
3	$2,3 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$	$1,6 \times 10^{-1}$
5	$1,9 \times 10^{-1}$	$9,0 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$
7	$1,6 \times 10^{-1}$	$7,5 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$