

**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:

9 mei 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 15 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

INHOUDSOPGAVE

Bladzijde

- 3-4 Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3e druk 2015),
blz. 204-205, gegevens ^{177}Lu
- 5 Parameters p, q en r uit de Bijlage radionucliden-laboratorium
- 6 Dichtheid en verzwakkingscoëfficiënten voor lood
- 7 Build-up-factoren voor lood
- 8 Etikettering klasse 7
- 9 Output luchtkermatempo van röntgentoestellen met variërende filters en
buisspanningen
- 10 Stukjes tekst uit de vergunning van de dierenarts
- 11 Verstrooiingshoek en dosis(kerma)tempo van divergente bundels röntgen-
en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur
- 12 Rendement MiniTRACE, type CSDF
- 13 Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3e druk 2015),
blz. 172, gegevens ^{137}Cs
- 14-15 Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3e druk 2015),
blz. 22-23, gegevens ^{11}C

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 204-205, gegevens ^{177}Lu

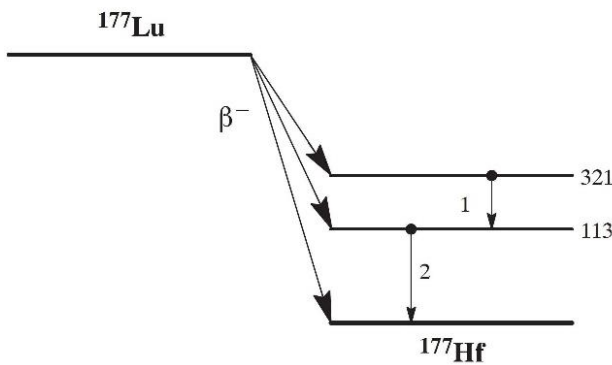
177Lu Z = 71

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 6,71 \text{ d} = 5,80 \times 10^5 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	0,122	47 176
β^-	0,091	111 384
β^-	0,786	149 497
γ_1	0,110	208
γ_2	0,064	113
K_α	0,047	55

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,0043 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,0063 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 4,07 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^3 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 5,0 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 30 \text{ TBq}$
	$A_2 = 0,7 \text{ TBq}$

N = 106

¹⁷⁷Lu

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹⁷⁷Lu is een activeringsproduct.

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat lutetium zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 60% naar bot, 2% naar lever, 0,5% naar nieren en de rest wordt rechtstreeks uitgescheiden.

De biologische halveringstijd voor alle organen/weefsels wordt gesteld op 3500 dagen, met uitzondering van de nieren (10 dagen).

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

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

Inhalatie

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

Overige verbindingen $f_1 = 5 \times 10^{-4}$ Klasse M

**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent
zowel voor werknemers als voor leden van de bevolking**

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

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname

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

Parameters p , q en r uit de Bijlage radionucliden-laboratorium

Waarde van de verspreidingsparameter p voor bepaalde handelingen binnen het laboratorium.

TOEPASSING	p
Eenvoudige bewerking met gassen Hanteren van poeders in 'open' systeem bijvoorbeeld mengen of malen Vloeistof met temperatuur tegen kookpunt Sterk spattende bewerkingen	- 4
Labeling met vluchtig nuclide (bijv. jodium) Koken van vloeistoffen in 'gesloten' systeem Centrifugeren en mengen op vortex Eenvoudige bewerking van poeders in 'gesloten' systeem Opslag van edelgas in toediensysteem	- 3
Labeling met niet-vluchtig nuclide Eenvoudige chemische bepaling met tracers (bijv. RIA)	- 2
Eenvoudige handelingen in 'gesloten' systemen zoals: Elutie Tc-generator Optrekken van spuit Labeling in gesloten systemen Kalibratie I-131 capsule Metingen aan stoffen in moeilijk verspreidbare vorm (bijvoorbeeld in ampul) Opslag van radioactief afval in werkruimte	- 1

Voor q kunnen de volgende waarden worden gehanteerd:

- $q = 0$ Werkruimtes buiten het laboratorium-beheer
- $q = 1$ D-laboratorium
- $q = 2$ C-laboratorium
- $q = 3$ B-laboratorium.

De parameter r voor de lokale ventilatievoorziening wordt als volgt ingevuld:

- $r = 0$ Voor het werken buiten de zuurkast zonder aanvullende ventilatievoorzieningen
- $r = 1$ Deze waarde mag worden gebruikt in geval van plaatselijke afzuiging of een zuurkast die niet is getest volgens DIN-12924, maar waarbij wel vaststaat dat minder dan 10% van de hoeveelheid stof die vrijkomt in de zuurkast, in de werkruimte komt
- $r = 2$ Dit geldt voor een goede zuurkast, waaronder wordt verstaan dat van de stof die vrijkomt in de zuurkast minder dan 1% in de werkruimte komt. Een zuurkast met een kwalificatie volgens DIN-12924 waarin geen opstelling is die de luchtstroom ernstig verstoort of een laminair air flow isolator (veiligheidskabinet klasse II) zullen in het algemeen aan deze norm voldoen
- $r = 3$ Gesloten werkkast. Hierbij wordt gedacht aan een klasse-III kabinet voor biologische veiligheid met een kwalificatie volgens NEN-EN 12469 of een gesloten laminair air flow isolator die aan deze eisen voldoet.

Dichtheid en verzwakkingscoëfficiënten voor lood

Dichtheid lood = 11,3 g/cm³

Massieke verzwakkingscoëfficiënten voor lood

	Energy (MeV)	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)	μ_{tz}/ρ (cm ² /g)
	1.00000E-02	1.306E+02	1.247E+02	1.247E+02
	1.30352E-02	6.701E+01	6.270E+01	6.251E+01
L3	1.30352E-02	1.621E+02	1.291E+02	1.291E+02
	1.50000E-02	1.116E+02	9.100E+02	9.100E+01
	1.52000E-02	1.078E+02	8.807E+02	8.512E+01
L2	1.52000E-02	1.485E+02	1.131E+02	1.131E+02
	1.55269E-02	1.416E+02	1.083E+02	1.082E+02
	1.58608E-02	1.344E+02	1.032E+02	1.030E+02
L1	1.58608E-02	1.548E+02	1.180E+02	1.180E+02
	2.00000E-02	8.636E+01	6.899E+01	6.879E+01
	3.00000E-02	3.032E+01	2.536E+01	2.536E+01
	4.00000E-02	1.436E+01	1.211E+01	1.206E+01
	5.00000E-02	8.041E+00	6.740E+00	6.709E+00
	6.00000E-02	5.021E+00	4.149E+00	4.119E+00
	8.00000E-02	2.419E+00	1.916E+00	1.900E+00
	8.80045E-02	1.910E+00	1.482E+00	1.469E+00
K	8.80045E-02	7.683E+00	2.160E+00	2.160E+00
	1.00000E-01	5.549E+00	1.976E+00	1.976E+00
	1.50000E-01	2.014E+00	1.056E+00	1.047E+00
	2.00000E-01	9.985E-01	5.870E-01	5.796E-01
	3.00000E-01	4.031E-01	2.455E-01	2.316E-01
	4.00000E-01	2.323E-01	1.370E-01	1.331E-01
	5.00000E-01	1.614E-01	9.128E-01	8.821E-02
	6.00000E-01	1.248E-01	6.819E-01	6.569E-02
	8.00000E-01	8.870E-02	4.644E-02	4.441E-02
	1.00000E+00	7.102E-02	3.654E-02	3.479E-02
	1.25000E+00	5.876E-02	2.988E-02	2.839E-02
	1.50000E+00	5.222E-02	2.640E-02	2.484E-02
	2.00000E+00	4.606E-02	2.360E-02	2.187E-02

Bron: <https://physics.nist.gov/PhysRefData/XrayMassCoef/ElemTab/z82.html>

Build-up-factoren voor lood




Table 3 Exposure absorption build up factors for lead.
 $R(\text{mfp}) = \mu d$

R(mfp)	Energy (Mev)							
	0.3	0.2	0.15	0.1	0.08	0.06	0.05	0.04
0.5	1.08	1.14	1.25	1.52	1.02	1.01	1.01	1.01
1.0	1.12	1.19	1.41	2.05	1.03	1.02	1.01	1.01
2.0	1.19	1.23	1.60	3.44	1.05	1.03	1.02	1.01
3.0	1.24	1.25	1.72	5.72	1.06	1.03	1.02	1.01
4.0	1.28	1.26	1.82	9.90	1.08	1.04	1.02	1.01
5.0	1.31	1.28	1.90	1.77E1	1.09	1.04	1.03	1.02
6.0	1.34	1.29	1.96	3.22E1	1.09	1.05	1.03	1.02
7.0	1.37	1.31	2.03	5.83E1	1.10	1.05	1.03	1.02
8.0	1.39	1.31	2.11	1.02E2	1.11	1.06	1.04	1.02
10.0	1.43	1.34	2.27	3.20E2	1.12	1.06	1.04	1.02
15.0	1.51	1.37	2.77	6.55E3	1.15	1.08	1.05	1.03
20.0	1.57	1.40	3.36	1.55E5	1.17	1.09	1.06	1.03
25.0	1.62	1.42	4.26	4.01E6	1.18	1.10	1.07	1.04
30.0	1.65	1.44	5.71	1.09E8	1.20	1.10	1.08	1.04

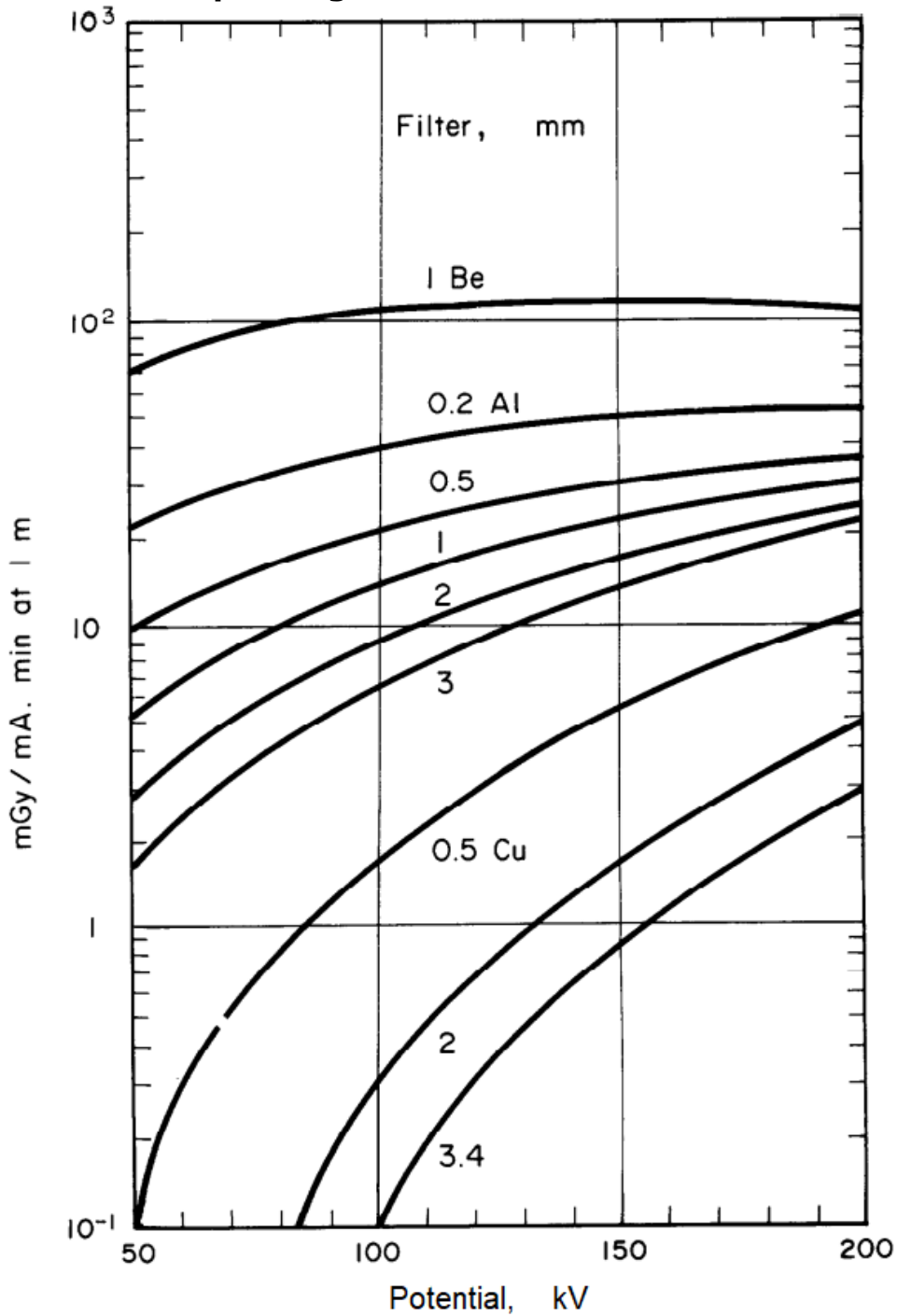
Bron: New gamma-ray buildup factor data for point kernel calculations: ans-6.4.3 standard reference data, pagina 40.

<https://technicalreports.ornl.gov/1988/3445605718328.pdf>

Etikettering klasse 7

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

Output luchtkermatempo van röntgentoestellen met variërende filters en buisspanningen



Output van een röntgengenerator met constant potentieel op 1 m afstand voor verschillende bundelfiltraties en een wolfram reflectie doel. Het 1 mm beryllium is het buisvenster. [ICRP 33, figuur 2]

Stukjes tekst uit de vergunning van de dierenarts

Milieubelasting wisselende plaatsen

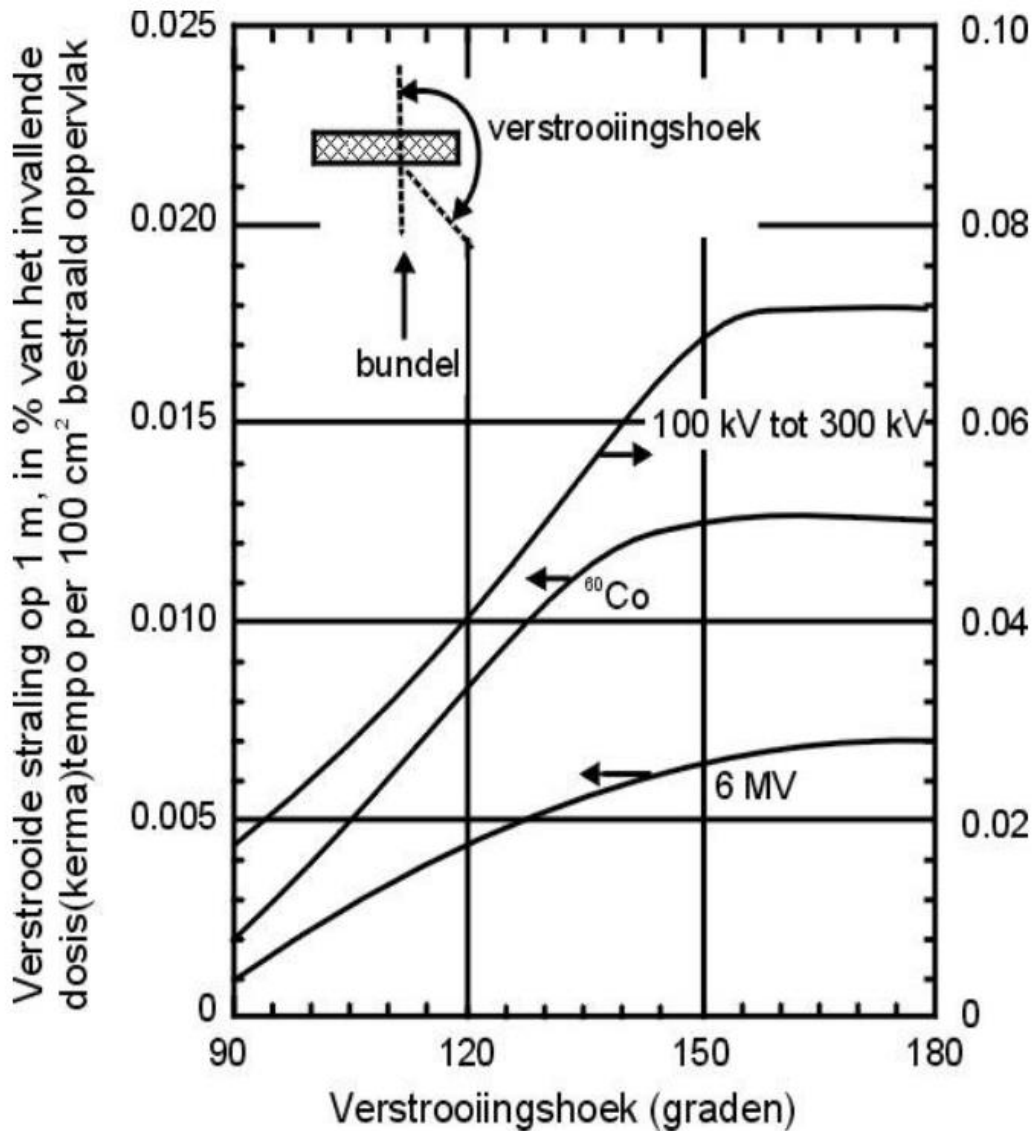
Buiten elke locatie, anders dan de vaste locatie, is de door de vergunde handelingen veroorzaakte bijdrage aan de effectieve dosis voor personen als gevolg van handelingen op wisselende plaatsen in Nederland zo laag als redelijkerwijs mogelijk (het ALARA principe). De MID overschrijdt per werklocatie in geen geval de waarde van 10 microsievert per jaar.

Overwegingen

In de overwegingen is meegenomen dat de MID in geen geval de waarde van 10 μSv per jaar overschrijdt op locatie(s) van derden, zoals blijkt uit de toegevoegde terreingrensberekeningen, waarbij de voorschriften uit de werkinstructies strikt worden opgevolgd. Dat houdt in dat er alleen opnames op locatie(s) van derden worden gemaakt indien er voldoende afscherming aanwezig is in de vorm van een muur van staal, steen, beton of lood. Dit is ter overweging en beoordeling van de toezichthoudend medewerker stralingsbescherming.

In paragraaf 1.2 onder II.1 is beschreven dat direct toezicht is vereist door een toezichthoudend medewerker stralingsbescherming (TMS) voor de betreffende toepassing. Met direct toezicht wordt bedoeld dat een aangewezen TMS op de locatie toezicht houdt op de uitgevoerde handelingen. Direct toezicht is vereist, omdat in het open veld wordt gestraald waarbij risico is op blootstelling van leden van de bevolking wanneer maatregelen niet (juist) worden genomen.

Verstrooiingshoek en dosis(kerma)tempo van divergente bundels röntgen- en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur



Verstrooiingspatronen van divergente bundels röntgen- en gammastraling bij loodrechte inval op een vlakke betonmuur. Percentage verstrooiing is gerelateerd aan metingen van de primaire bundel in de vrije lucht op het invalspunt. [ICRP 33, figuur 22]

Rendement MiniTRACE, type CSDF

Onderstaand wordt voor enkele nucliden het rendement van de MiniTRACE, type CSDF gegeven. De waarden zijn bepaald door een puntbron op de plaats van het klepje te houden, midden boven de detector. Hierdoor is er in feite sprake van een 2π -geometrie.

Radionuclide	Klepje gesloten (tps/Bq)	Klepje open (tps/Bq)
C-14	0	0,071
Cl-36	0	0,18
Co-60	0,0088	0,15
Sr-90	0,077	0,60
Cs-137	0,006	0,23
U-238	0,013	0,47
Am-241	0,00015	0,13

Gebaseerd op: Manual MiniTRACE, type CSDF (Saphymo, 2012), blz. 33.

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 172, gegevens ¹³⁷Cs

¹³⁷Cs

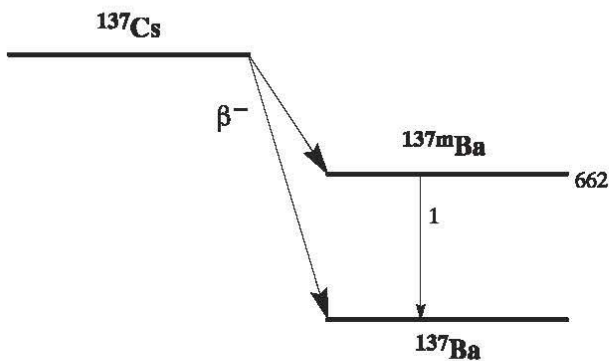
Z = 55

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 30,25 \text{ j} = 9,55 \times 10^8 \text{ s}$$

$$\lambda = 7,26 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
β ⁻	0,946	173 512
β ⁻	0,054	425 1173

Van ^{137m}Ba (T_{1/2} = 2,55 m; y = 0,946):

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
γ ₁	0,898	662
ce K γ ₁	0,083	624

Bronconstanten (van dochter ^{137m}Ba in evenwicht met ¹³⁷Cs)

Kermatempo in lucht	k = 0,077 μGy/h per MBq/m ²
Omgevingsdosis-equivalenttempo	h = 0,093 μSv/h per MBq/m ²

Diversen

Specifieke activiteit	A _{sp} = 3,19 × 10 ¹² Bq/g
Vrijstellingsgrenzen	C _v = 10 ¹ Bq/g en A _v = 10 ⁴ Bq
Huidbesmetting	H _{huid} = 5 × 10 ⁻¹⁰ Sv/s per Bq/cm ² (incl. ^{137m} Ba)
Wondbesmetting; Injectie	e(50) = 1,4 × 10 ⁻⁸ Sv/Bq (incl. ^{137m} Ba)
Vervoer	A ₁ = 2 TBq A ₂ = 0,6 TBq

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹³⁷Cs is een belangrijk splijttingsproduct. Het wordt onder meer gebruikt als gamma-referentiebron en als bron bij brachytherapie.

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3^e druk 2015), blz. 22-23, gegevens ¹¹C

¹¹C

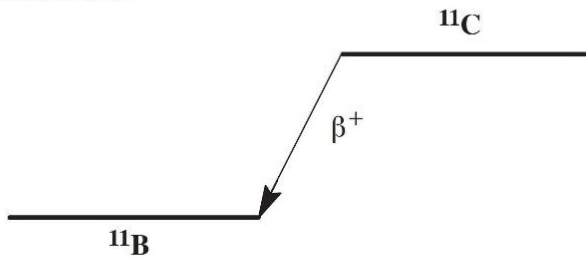
Z = 6

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 20,39 \text{ min} = 1,22 \times 10^3 \text{ s}$

$\lambda = 5,67 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
β ⁺	1,000	385 960
γ [±]	2,000	511

Bronconstanten

Kermatempo 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	$A_{sp} = 3,10 \times 10^{19} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10 \text{ Bq/g}$
	$A_v = 10^9 \text{ Bq (CO, CO}_2)$
	$= 10^6 \text{ Bq (overige)}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,4 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 1 \text{ TBq}$
	$A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹¹C wordt geproduceerd met een cyclotron via de ¹¹B(p,n)- of de ¹⁴C(p,α)-reactie. Het wordt toegepast voor positron-emissie-tomografie (PET).

N = 5

11C

Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat koolstof zich na ingestie en inhalatie momentaan en homogeen over het lichaam verdeelt. Er gelden verschillende biologische halveringstijden zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Ingestie- en longzuiveringsklassen

		Biologische $T_{1/2}$
Ingestie		
Alle verbindingen	$f_1 = 1$	40 d
Inhalatie		
Organische aerosolen	M	40 d
Organische dampen	SR-2	40 d
CO	SR-1, 40% dep.	200 min
CO ₂	SR-2	5 d (18%) 60 d (81%) 40 d (1%)

**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent
zowel voor werknemers als voor leden van de bevolking**

	Ingestie $f_1 = 1$	Inhalatie M	Inhalatie Damp	Inhalatie CO	Inhalatie CO ₂	
$e(50)$	$2,4 \times 10^{-11}$	$1,8 \times 10^{-11}$	$3,2 \times 10^{-12}$	$1,2 \times 10^{-12}$	$2,2 \times 10^{-12}$	Sv/Bq
A_{Re}	$4,2 \times 10^{10}$	$5,6 \times 10^{10}$	$3,1 \times 10^{11}$	$8,3 \times 10^{11}$	$4,5 \times 10^{11}$	Bq

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname

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

De lichaamsactiviteit op latere tijdstippen is verwaarloosbaar.