

BIJLAGE bij
Gecoördineerd examen stralingsbescherming
Deskundigheidsniveau 3

Nuclear Research and consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave Nascholing/LUMC	BN
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboud Universiteit/ UMC St.Radboud	RU/UMC
TU Eindhoven	TU/e

examendatum: 12 mei 2014
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 11 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!**

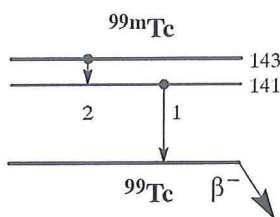
INHOUDSOPGAVE

Pagina	
3-4	Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2 ^e druk 2007), blz. 124-125: ^{99m} Tc
5	Transmissie van brede bundels gammastraling van verschillende radionucliden door beton (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 47)
6	Verstrooiingspercentages voor beton voor diverse fotonenergieën (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 56)
7	Transmissie voor brede bundels van ⁶⁰ Co gammastraling verstrooid over verschillende hoeken aan een patiënt-simulerend fantoom door beton (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 60)
8	MIRD-gegevens van ²⁰⁷ Bi (http://www.nndc.bnl.gov/mird/)
9	Tabel en tekstfragment uit de Concept-Basisrichtlijn Ingekapselde Radioactieve Bronnen
10-11	Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2 ^e druk 2007), blz. 172-173: ¹³⁷ Cs

^{99m}Tc **$Z = 43$** **Halveringstijd en vervalconstante**

$$T_{1/2} = 6,006 \text{ h} = 2,17 \times 10^4 \text{ s}$$

$$\lambda = 3,21 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
γ_1	0,889	141
ce M γ_2	0,914	2
ce N γ_2	0,076	2
K_α	0,062	18
LMX	0,102	2

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,018 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosis-equivalenttempo	$h = 0,023 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{\text{sp}} = 1,95 \times 10^{17} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-11} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,1 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 10 \text{ TBq}$
	$A_2 = 4 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ^{99m}Tc is de dochter van ^{99}Mo . Het wordt geproduceerd in een Mo/Tc-generator en op zeer grote schaal in de nucleaire geneeskunde gebruikt voor diagnostische doeleinden: voor afbeeldingen en functiestudies.

N = 56

 ^{99m}Tc **Metabool model**

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat technetium zich vanuit het bloed als volgt over de verschillende organen en weefsels van het lichaam verdeelt: 4% naar de schildklier, 10% naar de maagwand, 3% naar de lever en de rest naar de overige organen/weefsels. De biologische halveringstijd voor verblijf in het bloed is gesteld op 0,02 dagen, terwijl voor de organen/weefsels wordt aangenomen:

Fractie	$T_{1/2}$
0,75	1,6 d
0,20	3,7 d
0,05	22 d

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

Ingestie- en longzuiveringsklassen**Ingestie**

Alle verbindingen $f_1 = 0,8$

Inhalatie

Halogenide, nitraat, hydroxide, oxide	$f_1 = 0,8$	Klasse M
Overige verbindingen	$f_1 = 0,8$	Klasse F

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

	Ingestie $f_1 = 0,8$	Inhalatie F	Inhalatie M	
$e(50)(w)$	$2,2 \times 10^{-11}$	$2,0 \times 10^{-11}$	$2,9 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$4,5 \times 10^{10}$	$5,0 \times 10^{10}$	$3,4 \times 10^{10}$	Bq
$e(50)(b)$	$2,2 \times 10^{-11}$	$1,2 \times 10^{-11}$	$1,9 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$4,5 \times 10^{10}$	$8,3 \times 10^{10}$	$5,3 \times 10^{10}$	Bq

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname

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

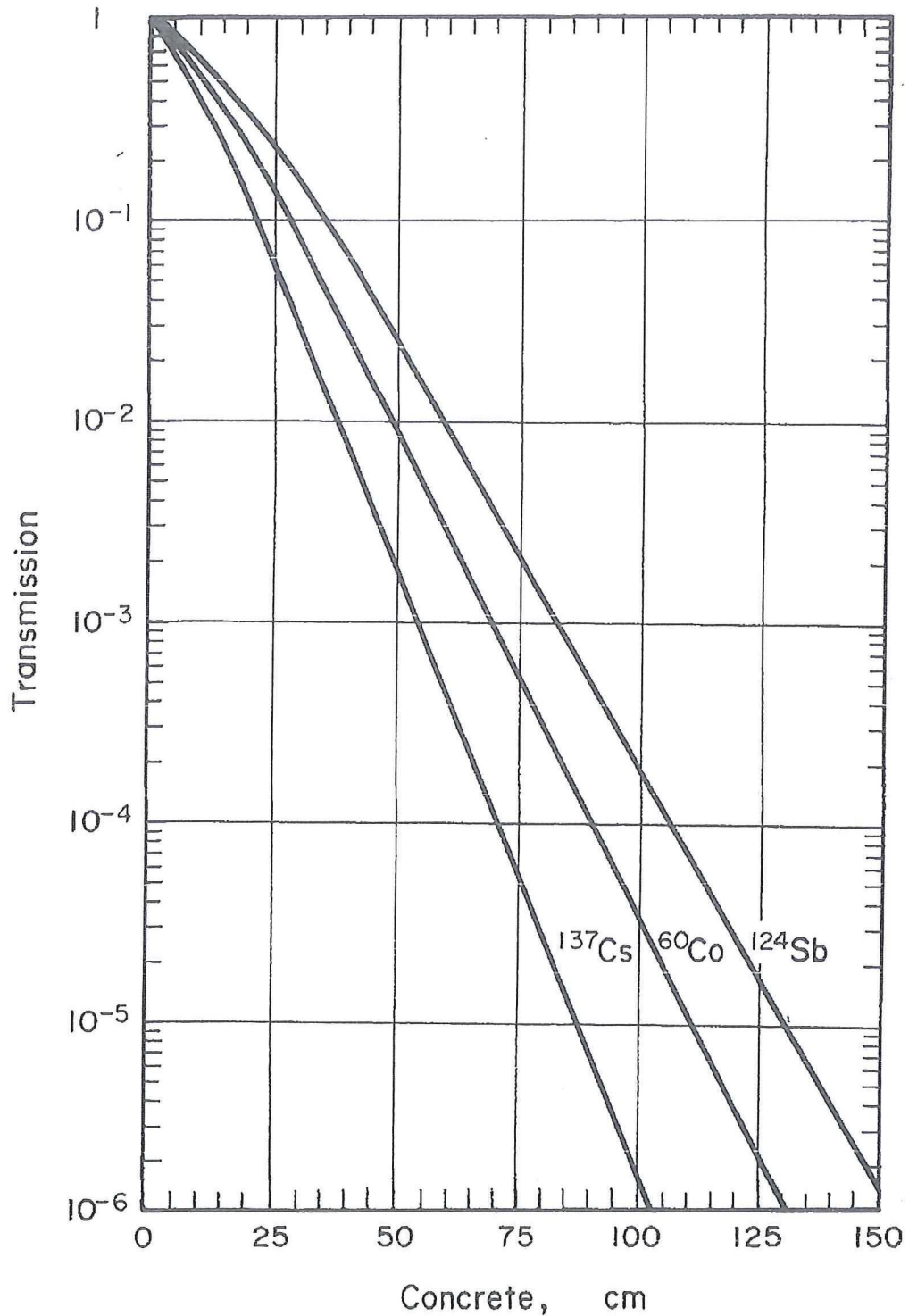


Fig. 18. Broad-beam transmission of gamma rays from various radionuclides through concrete, density $2\,350\text{ kg m}^{-3}$.

Transmissie van brede bundels gammastraling van verschillende radionucliden door beton (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 47).

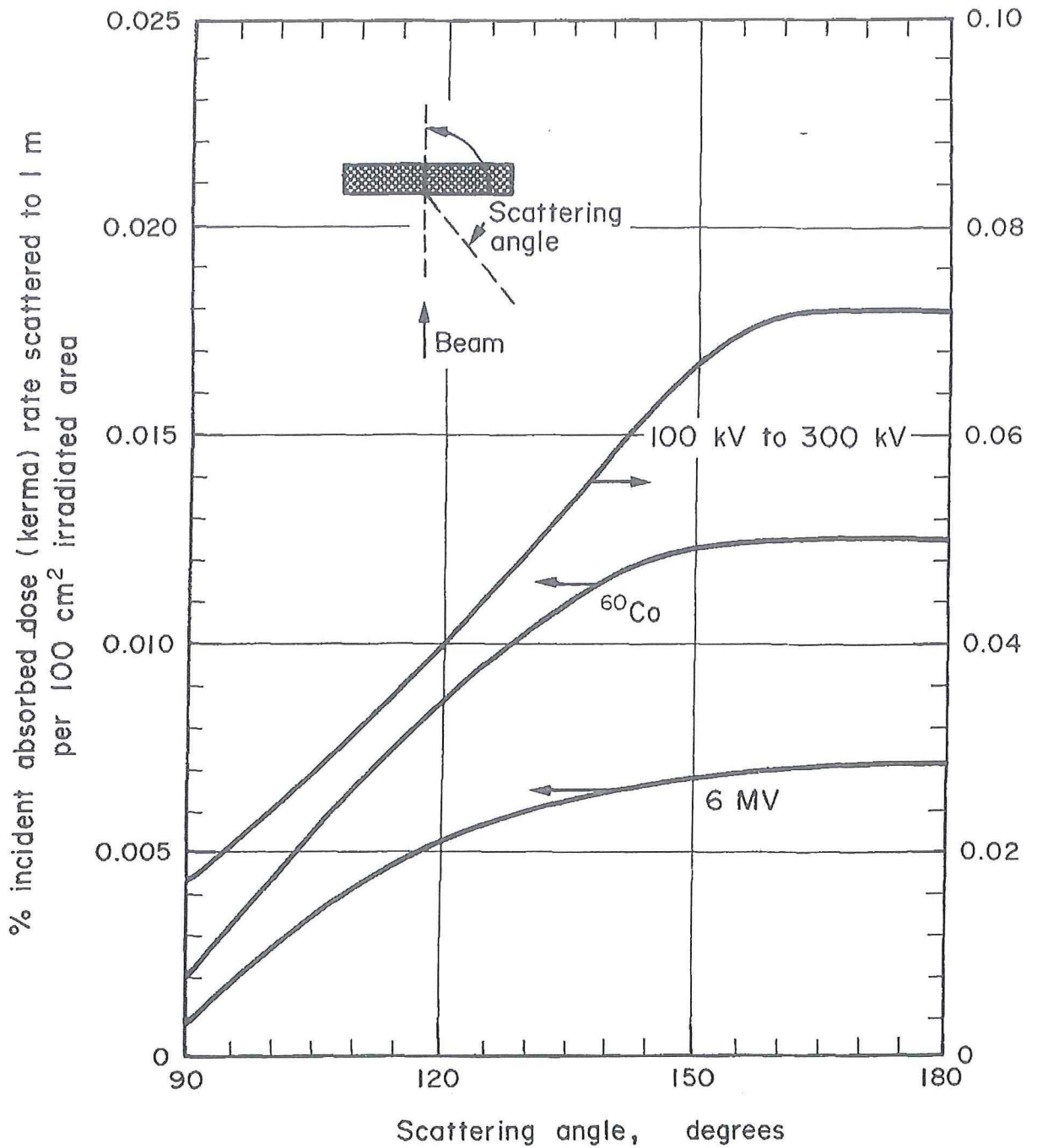


Fig. 22. Scattering patterns of diverging x-ray and gamma-ray beams normally incident on a concrete shield. Per cent scatter is related to primary beam measurements in free air at the point of incidence.

Verstrooiingspercentages voor beton voor diverse fotonenergieën (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 56).

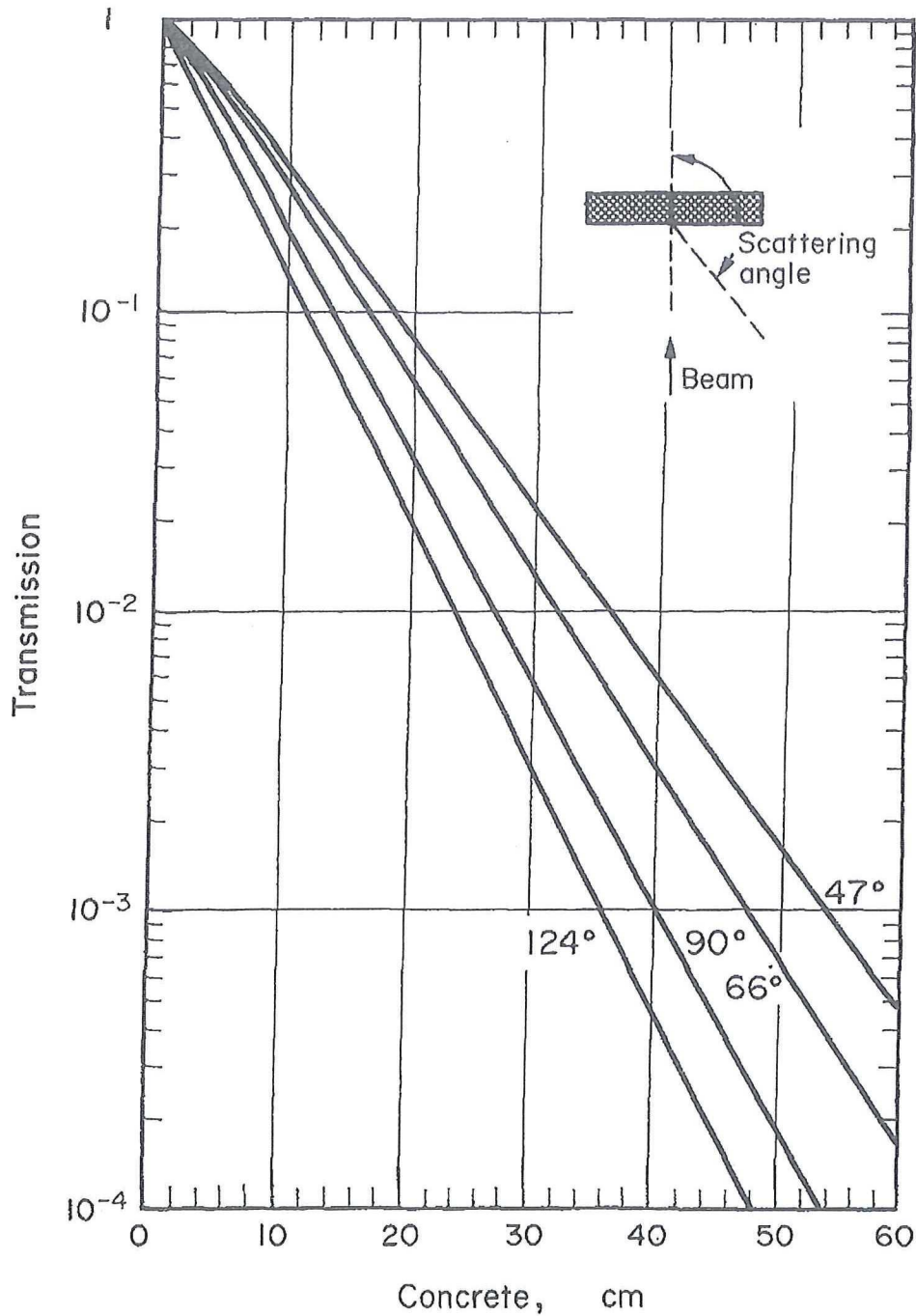


Fig. 25. Broad-beam transmission of ^{60}Co gamma rays scattered at various angles from a patient-simulating phantom through concrete, density $2\,350\text{ kg m}^{-3}$.

Transmissie voor brede bundels van ^{60}Co gammastraling verstrooid over verschillende hoeken aan een patiënt-simulerend fantoom door beton (ontleend aan ICRP Report 33 (1982), blz. 60).

83-BISMUTH-207

Half-life = 31.55 Years
Decay Mode(s): $\varepsilon + \beta^+$

Feb-2011

<u>RADIATIONS</u>	<u>y(i)</u> <u>(Bq-s)⁻¹</u>	<u>E(i)</u> <u>(MeV)</u>	<u>y(i)×E(i)</u>
β^+ 1	3.80E-04	3.830E-01*	1.46E-04
γ 2	9.77E-01	5.697E-01	5.57E-01
ce-K, γ 2	1.54E-02	4.817E-01	7.40E-03
ce-L, γ 2	4.42E-03	5.538E-01 ^a	2.45E-03
ce-M, γ 2	1.11E-03	5.658E-01 ^a	6.31E-04
ce-M+, γ 2	1.46E-03	5.673E-01 ^a	8.26E-04
γ 4	7.45E-01	1.064E+00	7.92E-01
ce-K, γ 4	7.08E-02	9.757E-01	6.91E-02
ce-L, γ 4	1.84E-02	1.048E+00 ^a	1.93E-02
ce-M, γ 4	4.40E-03	1.060E+00 ^a	4.66E-03
ce-N+, γ 4	1.45E-03	1.063E+00 ^a	1.54E-03
γ 5	1.31E-03	1.442E+00	1.89E-03
γ 6	6.87E-02	1.770E+00	1.22E-01
ce-K, γ 6	2.38E-04	1.682E+00	4.00E-04
K α_1 X-ray	3.65E-01	7.497E-02	2.74E-02
K α_2 X-ray	2.17E-01	7.280E-02	1.58E-02
K β X-ray	1.63E-01	8.490E-02*	1.38E-02
L X-ray	3.32E-01	1.060E-02*	3.52E-03
Auger-K	2.83E-02	5.670E-02*	1.60E-03
Auger-L	5.44E-01	7.970E-03*	4.34E-03
Listed X, γ and γ^\pm Radiations			1.53E+00
Omitted X, γ and γ^\pm Radiations**			1.54E-03
Listed β , ce and Auger Radiations			1.12E-01
Omitted β , ce and Auger Radiations**			1.06E-04
Listed Radiations			1.65E+00
Omitted Radiations**			1.65E-03

* Average Energy (MeV).

a Maximum Energy (MeV) for subshell.

** Each omitted transition contributes <0.100 % to $\sum E(i) \times y(i)$ in its category.

Lead-207 Daughter is stable.

MIRD-gegevens van ²⁰⁷Bi (<http://www.nndc.bnl.gov/mird/>)

In principe moeten ingekapselde bronnen elk jaar op lek worden getest. Voor bronnen met een activiteit die èn minder is dan 1 MBq èn minder dan $0,02 Re_{ing}$ is evenwel geen controle vereist.

Tabel: Maatregelen als een uitwendige besmetting van een ingekapselde bron is geconstateerd.

<i>afgewreven activiteit</i>	<i>maatregel</i>
$> 2 \cdot 10^{-3} Re_{ing}$	niveau-3 deskundige inschakelen en onmiddellijk inspecties verwittigen
$> 2 \cdot 10^{-4} Re_{ing}$	niveau-3 deskundige inschakelen
$>$ besmettingsnorm òf $> 2 \cdot 10^{-5} Re_{ing}$	bron opnieuw controleren

Een bron wordt geacht lek te zijn wanneer de afgewreven hoeveelheid activiteit meer bedraagt dan:

- α -stralers 18,5 Bq
- andere nucliden 185 Bq

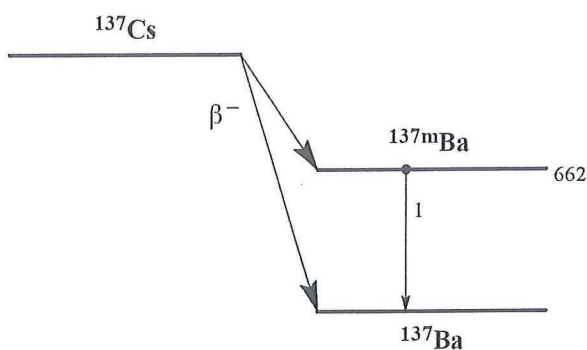
Indien niet de bron zelf maar de bronhouder wordt geveegd, moeten deze waarden met een factor 10 worden verkleind. De maatregelen die moeten worden genomen, hangen af van de afgewreven activiteit en zijn vermeld in bovenstaande tabel.

Tabel en tekstfragment uit de Concept-Basisrichtlijn Ingekapselde Radioactieve Bronnen.

^{137}Cs **$Z = 55$** **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** Van $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ($T_{1/2} = 2,55 \text{ m}$; $y = 0,946$):

Straling	y ($\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$)	E (keV)	Straling	y ($\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$)	E (keV)
β^-	0,946	173 512	γ_1	0,898	662
β^-	0,054	425 1173	ce K γ_1	0,083	624

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

Kermatempo in lucht	$k = 0,077 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,093 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{\text{sp}} = 3,19 \times 10^{12} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^1 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^4 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$ (incl. $^{137\text{m}}\text{Ba}$)
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,4 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ (incl. $^{137\text{m}}\text{Ba}$)
Vervoer	$A_1 = 2 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,6 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

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

N = 82

 ^{137}Cs **Metabool model**

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

De biologische halveringstijden zijn:

Fractie	$T_{1/2}$
0,1	2 d
0,9	110 d

Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie

Alle verbindingen $f_1 = 1$

Inhalatie

Alle verbindingen $f_1 = 1$ Klasse F**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciteitsequivalent voor werknemers (w) en voor leden van de bevolking (b)**

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

Gegevens voor totale-lichaamstelling

Na eenmalige inname

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