

**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:
14 december 2020
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 12 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

INHOUDSOPGAVE

Bladzijde

- 3 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 74; gegevens ^{60}Co
- 4 Radiological Health Handbook, blz. 148
- 5 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 172; gegevens ^{137}Cs
- 6-7 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 18-19 ; gegevens ^3H
- 8 Procentuele radioactiviteitsverdeling over de organen na toediening van ^{123}I -IBZM, Nicolaas P.L.G. Verhoeff e.a., European Journal of Nuclear Medicine, september 1993
- 9 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 156, gegevens ^{123}I
- 10 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 204, gegevens ^{177}Lu
- 11 Massieke verzwakkingscoëfficiënten van lood
- 12 Conversiecoëfficiënten van luchtkerma naar omgevingsdosisequivalent als functie van fotonenergie

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), gegevens ^{60}Co

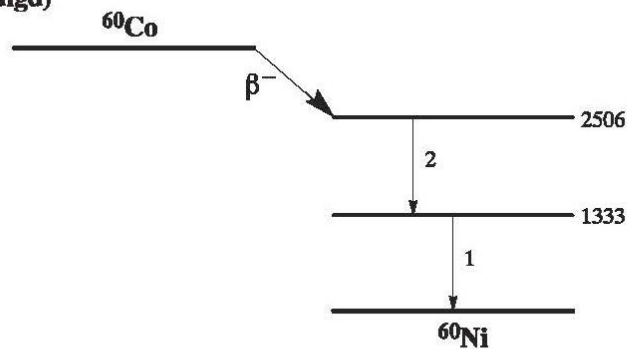
^{60}Co
Z = 27

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 5,272 \text{ j} = 1,66 \times 10^8 \text{ s}$

$\lambda = 4,17 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	0,999	96 318
γ_1	1,000	1333
γ_2	0,999	1173

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,31 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosis-equivalenttempo	$h = 0,36 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

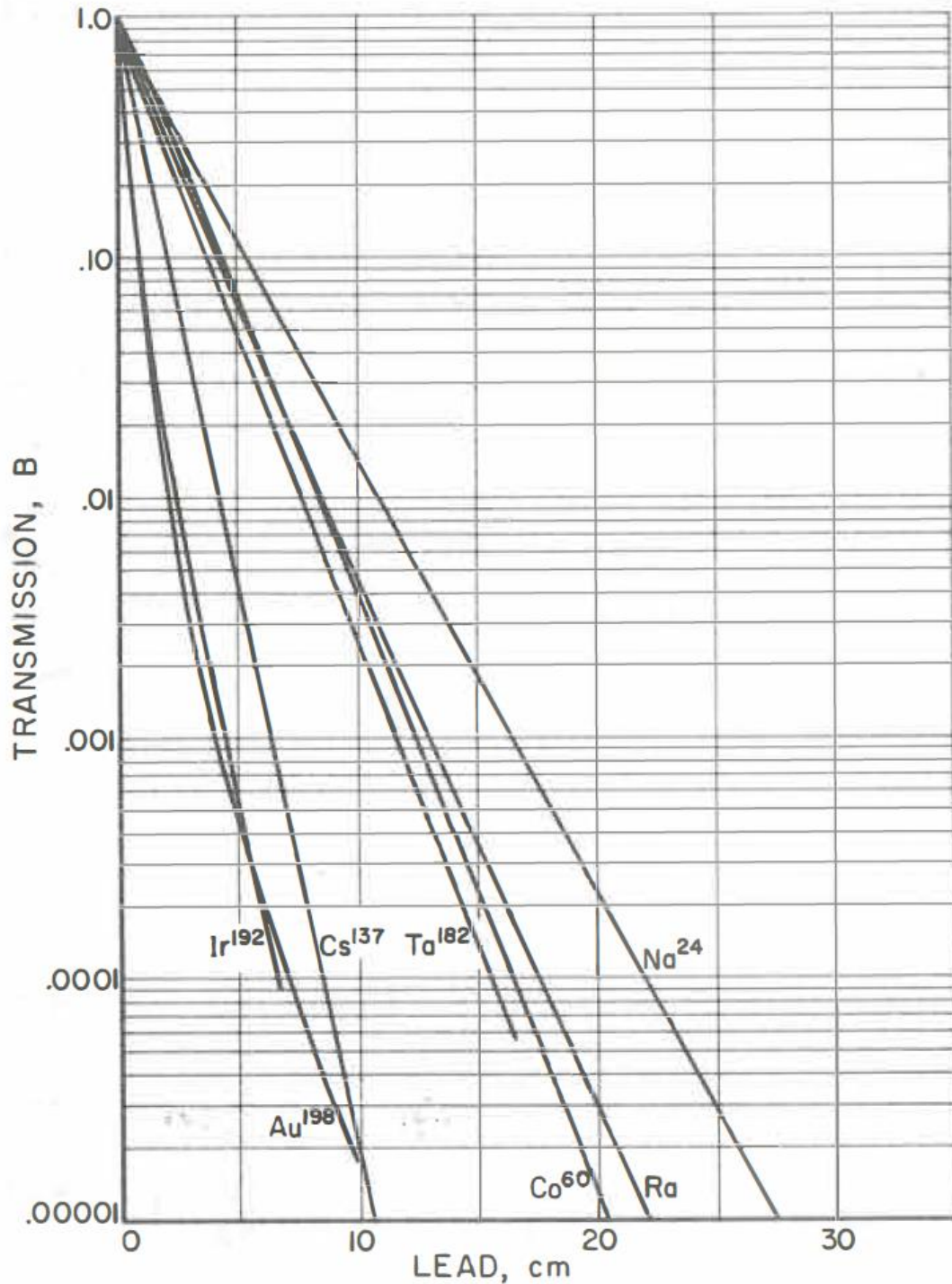
Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 4,18 \times 10^{13} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^0 = 1 \text{ Bq/g !!}$
	$A_v = 10^5 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{huid} = 3 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,9 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 0,4 \text{ TBq}$
	$A_2 = 0,4 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ^{60}Co is een activeringsproduct. Het komt voor als bijproduct in reactoren ten gevolge van de activering van staal. Daarnaast wordt het op velerlei terreinen toegepast. Voorbeelden zijn: radiotherapie, gammagrafie, doorstraling, ijking, demonstratie.

Radiological Health Handbook blz. 148, transmissiegegevens van diverse gammabronnen door lood



Transmission through lead of gamma rays from radium [14]; cobalt 60, cesium 137, gold 198 [7]; iridium 192 [15]; tantalum 182 and sodium 24 [29].

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

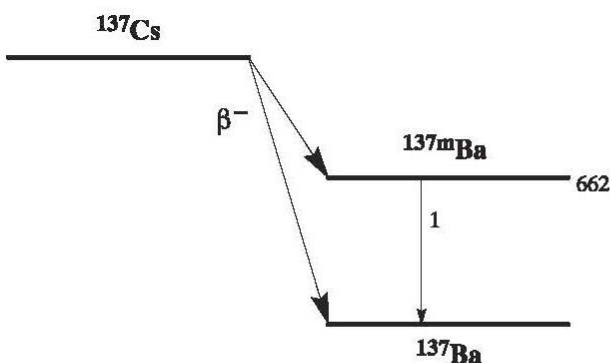
^{137}Cs **Z = 55**

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	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$	Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
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 splijtingsproduct. Het wordt onder meer gebruikt als gamma-referentiebron en als bron bij brachytherapie.

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), gegevens ^3H

^3H

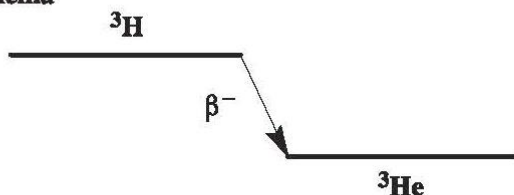
Z = 1

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 12,35 \text{ j} = 3,90 \times 10^8 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,78 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
β^-	1,000	5,7 18,6

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 3,57 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^6 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^9 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} < 10^{-14} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,8 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq (water)}$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 4,1 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq (organisch)}$
Vervoer	$A_1 = 40 \text{ TBq}$ $A_2 = 40 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Tritium wordt geproduceerd door bestraling van lithium met neutronen: $^6\text{Li}(n,\alpha)^3\text{H}$. Tritium ontstaat ook op natuurlijke wijze. Het wordt gevormd in de buitenste lagen van de atmosfeer, door interactie van kosmische straling met stikstof, voornamelijk via de reactie $^{14}\text{N}(n,^3\text{H})^{12}\text{C}$. Zodoende komt tritium voor in de biosfeer: de tritiumconcentratie in zeewater ten gevolge van het natuurlijke tritium bedraagt 0,1–1 Bq/l. De tritiuminventaris van de gehele aarde wordt geschat op 1–2 EBq. Door proeven met thermonucleaire explosies in de atmosfeer is hieraan inmiddels ongeveer 200 EBq toegevoegd. Elk persoon bevat hierdoor 100 Bq tritium.

Van de vele toepassingen van tritium zijn de volgende het belangrijkste:

- tritium-houdende trefplaat voor neutronengenerator via D,T-reactie;
- als lichtbron (o.a. EXIT-bord en horloge): β -light;
- als grondstof voor thermonucleaire reactie (waterstofbom)
- als merker van biologische verbindingen, o.a. voor geneesmiddelenonderzoek
- als merker bij geologische onderzoeken, o.a. bij olie-exploratie
- als bron in een electroncapture-detector.

N = 2

³H**Metabool model**

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat tritium bij inhalatie en ingestie volledig en instantaan in het lichaam wordt opgenomen. Verder wordt het ook via de intacte huid opgenomen.

De biologische halveringstijd voor alle organen/weefsels wordt gesteld op:

Water	$T_{1/2}$	Organisch	$T_{1/2}$
97%	10 d	50%	10 d
3%	40 d	50%	40 d

Ingestie- en longzuiveringsklassen**Ingestie**

Alle verbindingen $f_1 = 1$

Inhalatie

Waterdamp SR-2

Organisch SR-2

Voor waterdamp geldt een extra inname van 0,6 Bq/h per Bq/m³ ten gevolge van opname door de huid.

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

	Ingestie en inhalatie		Ingestie en inhalatie	
	Water(damp)		Organisch	
$e(50)$	$1,8 \times 10^{-11}$		$4,1 \times 10^{-11}$	Sv/Bq
A_{Re}	$5,6 \times 10^{10}$		$2,4 \times 10^{10}$	Bq

Gegevens voor urine-analyse

Na eenmalige inname

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

Procentuele radioactiviteitsverdeling na toediening van ¹²³I-IBZM

Procentuele radioactiviteitsverdeling in verschillende organen, gemeten in drie tijdsperiodes na toediening van ¹²³I-IBZM. Gegevens zijn gemiddelden ± standaarddeviatie. De gegevens zijn gecorrigeerd voor het verval van ¹²³I.

Percentage of radioactivity distribution in various organs measured in three time periods after administration of ¹²³I-IBZM. Data are mean ± SD

	Period 1 15–95 min	Period 2 180–270 min	Period 3 330–360 min
Total body	100 ^a	86.7 ± 6.2 ^a	75.9 ^a
Brain	4.0 ± 0.7	2.0 ± 0.5	0.6
Kidneys	3.6 ± 0.7	2.9 ± 1.0	3.2
Bladder	1.6 ± 0.8	2.9 ± 1.8	10.0
Liver	14.6 ± 3.3	7.7 ± 0.8	5.8
Lungs	13.0 ± 4.2	5.9 ± 0.9	4.1
Spleen	2.7 ± 0.8	1.6 ± 1.0	1.1
Bowel	8.6 ± 3.4	14.0 ± 3.3	10.0
Gall-bladder	1.9 ± 1.0	3.9 ± 2.5	2.5
Heart	4.9 ± 1.5	2.4 ± 0.5	2.1
Thyroid	0.6 ± 0.6	0.5 ± 0.2	0.5
Parotid	0.2 ± 0.0	0.2 ± 0.1	0.1
Submandibular	0.4 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.2
Testes	0.2 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.3
Blood	5.5 ± 1.2	5.9 ± 0.6	5.1
Urine	0	13.3 ± 6.2	24.1

Uit: Dosimetry of iodine-123 iodobenzamide in healthy volunteers, Nicolaas P.L.G. Verhoeff e.a., European Journal of Nuclear Medicine, september 1993.

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015),
gegevens ^{123}I

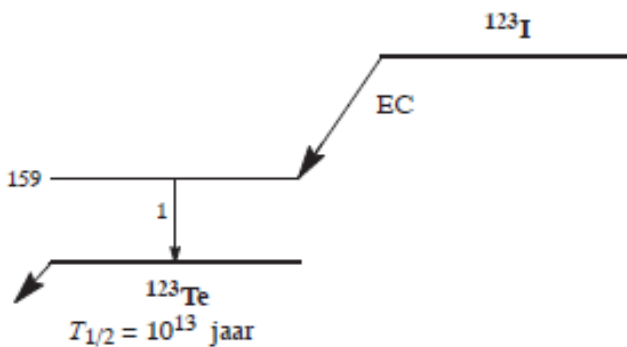
123I
Z = 53

Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 13,22 \text{ h} = 4,76 \times 10^4 \text{ s}$$

$$\lambda = 1,46 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	γ (Bq·s) ⁻¹	E (keV)	Straling	γ (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
γ_1	0,828	159	KLL	0,082	23
ce K γ_1	0,135	127	LMM	0,606	3
K α	0,704	27	LMX	0,311	4
K β	0,158	31			

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,038 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosis-equivalenttempo	$h = 0,046 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 7,13 \times 10^{16} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^2 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 1 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 2,1 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 6 \text{ TBq}$ $A_2 = 3 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ^{123}I is een cyclotronproduct: protonen op xenon. Het wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde voor diagnostische doeleinden.

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

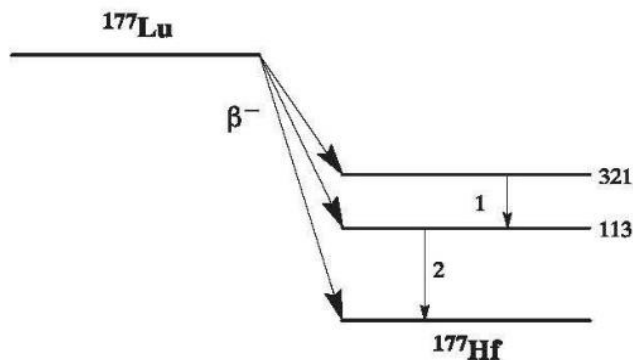
177Lu
Z = 71

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

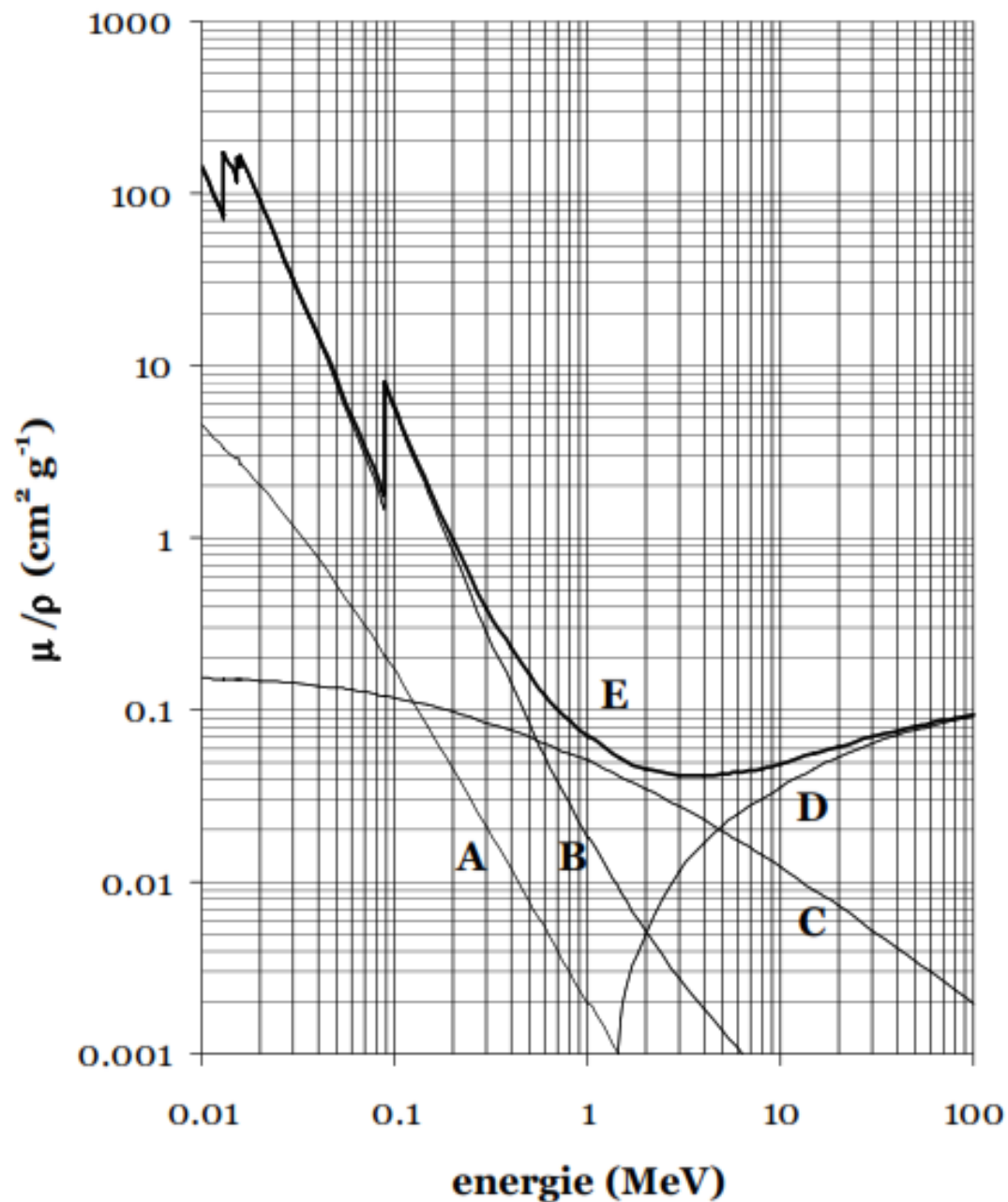
Bronconstanten

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

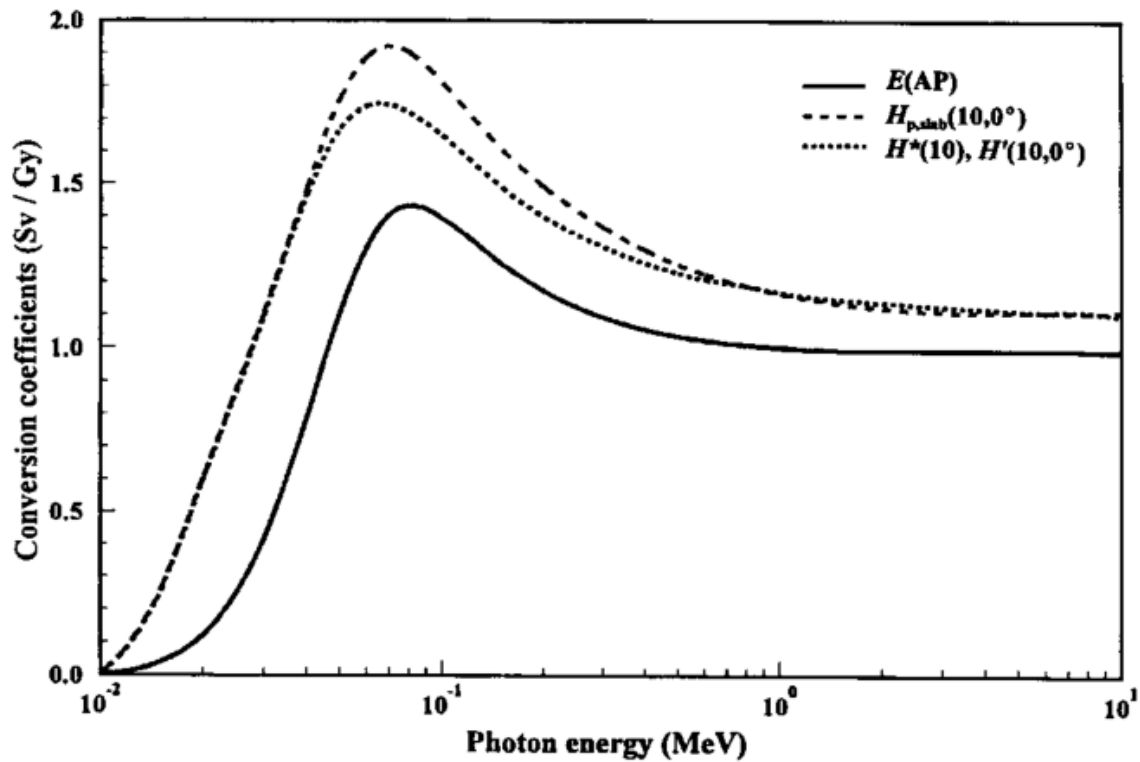
Specifieke activiteit	$A_{sp} = 4,07 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^3 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{huid} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 5,0 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 30 \text{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

Massieke verzwakkingscoëfficiënten van lood
Lood



Figuur 6.14 Massieke verzwakkingscoëfficiënten van lood voor (A) Rayleigh-verstrooiing, (B) foto-elektrisch effect, (C) Compton-effect, (D) paarvorming en (E) de totale massieke verzwakkingscoëfficiënt μ/ρ .

Conversiecoëfficiënten van luchtkerma naar omgevingsdosisequivalent als functie van fotonenergie



Conversiecoëfficiënten van luchtkerma K_a naar omgevingsdosisequivalent $H^(10)$, effectieve dosis $E(AP)$ in een fantoom van een volwassene in de anterior-posteriorgeometrie, en persoonsdosisequivalent $H_{p,slab}(10)$ in een ICRU-slab.*