

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

examendatum:

8 juli 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 14 doorlopend genummerde pagina's. Controleer dit!

INHOUDSOPGAVE

Bladzijde

- 3-4 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 164-165; gegevens ¹³¹I
- 5 Tekst artikel 10.3 van Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming
- 6 Inleiding tot de stralingshygiëne, Bos *et al.* (2^e druk 2007), blz. 381, Tabel D; Interactiecoëfficiënten voor fotonen
- 7 Inleiding tot de stralingshygiëne, Bos *et al.* (2^e druk 2007), blz. 268, Tabel 11.1; Expositie-opbouwfactor voor isotrope puntbron
- 8-9 Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (3e druk 2015), blz. 160-161; gegevens ¹²⁵I
- 10-12 Vergunningsbijlage 'Bijlage radionucliden-laboratorium', blz. 10, 11 en 12
- 13 Radiological Health Handbook (Public Health Service Publ. No. 2016, 1970), p. 112 – Uitsnede uit de Uraniumreeks
- 14 Uitsnede uit de Karlsruher Nuklidkarte

^{131}I

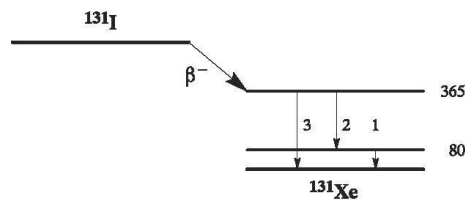
$Z = 53$

Halveringstijd en vervalconstante

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

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

Vervalchema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	γ ($\text{Bq}\cdot\text{s}^{-1}$)	E (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 splijttingsproduct. 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 verblijft 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	$1,6 \times 10^{-1}$	$7,5 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$

Tekst artikel 10.3 van Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming

Artikel 10.3 (vrijstelling verbod lozingen)

- 1** Een verbod als bedoeld in artikel 3.5 in samenhang met artikel 3.8, vierde lid, onder c, op het handelen zonder vergunning waarbij door de lucht verspreide of vloeibare radioactieve stoffen in de omgeving vrijkomen, is niet van toepassing indien:
 - a.** bij lozing in de lucht, de activiteit van de in totaal in een kalenderjaar geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen bij het verlaten van de locatie via een lozingspunt lager is dan 1 radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie als bedoeld in bijlage 2;
 - b.** bij lozing in het openbare riool, de activiteit van de in totaal in een kalenderjaar geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen bij het verlaten van de locatie via een lozingspunt lager is dan 10 radiotoxiciteitsequivalent voor ingestie als bedoeld in bijlage 2;
 - c.** bij lozing in het oppervlaktewater, de activiteit van de in totaal in een kalenderjaar geloosde hoeveelheid radioactieve stoffen bij het verlaten van de locatie via een lozingspunt lager is dan 0,1 radiotoxiciteitsequivalent voor ingestie als bedoeld in bijlage 2.
- 2** De geloosde hoeveelheden, uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten, worden gecorrigeerd voor fysisch verval door middel van de correctiefactoren zoals opgenomen in bijlage 2.

Uit bijlage 2 van het Besluit basisveiligheidsnormen stralingsbescherming: Correctiefactoren voor lozing in lucht en water, afhankelijk van de fysische halveringstijd $T_{1/2}$ van het geloosde radionuclide

Halveringstijd	$T_{1/2} \leq 5 d$	$5 d < T_{1/2} \leq 7,5 d$	$7,5 d < T_{1/2} \leq 15 d$	$15 d < T_{1/2} \leq 25 j$	$25 j < T_{1/2} \leq 250 j$	$250 j < T_{1/2}$
Lozingen in lucht CR_l	1	1	1	1	10	100
Lozingen in water CR_w	0,001	0,01	0,1	1	10	100

Inleiding tot de stralingshygiëne, Bos *et al.* (2^e druk 2007), blz. 381, Uit Tabel D;
 Interactiecoëfficiënten voor fotonen

Fotonen-energie (MeV)	Tin $\rho = 7,30 \text{ g/cm}^3$			Fotonen-energie (MeV)	Lood $\rho = 11,34 \text{ g/cm}^3$		
	μ/ρ (cm ² /g)	μ_{tr}/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)		μ/ρ (cm ² /g)	μ_{tr}/ρ (cm ² /g)	μ_{en}/ρ (cm ² /g)
0,0010	11130	11110	11110	M ₁ edge	–		
0,0015	3960	3950	3950	0,003854	1493	1454	1453
0,0020	1963	1954	1954				
0,0030	713	705	705	0,004	1333	1298	1297
0,0039288				0,005	767	747	747
L ₃ edge	367	360	360	0,006	493	479	479
0,0039288	1118	1067	1067	0,008	238	230	230
				0,010	136,6	131,0	130,7
0,0040	1067	1019	1019				
				0,0130406	70,1	66,2	66,0
0,0041573	973	930	930	L ₃ edge			
L ₂ edge				0,0130406	165,7	128,8	128,8
0,0041573	1244	1187	1187				
				0,015	114,7	91,7	91,7
0,0044648	1016	971	971				
L ₁ edge				0,0152053	112,0	86,6	89,6
0,0044648	1264	1207	1207	L ₂ edge			
				0,0152053	145,4	113,0	113,0
0,005	919	880	880				
0,006	561	540	539	0,015855	129,3	101,7	101,6
0,008	259	250	249	L ₁ edge			
				0,015855	159,2	123,0	123,0
0,010	141,6	136,5	136,4				
0,015	45,8	43,7	43,6	0,02	85,5	69,2	69,1
0,020	21,2	19,83	19,81	0,03	29,1	24,6	24,6
0,0291947	7,61	6,83	6,82	0,04	13,80	11,83	11,78
K edge				0,05	7,71	6,57	6,54
0,0291947	45,4	16,70	16,69	0,06	4,87	4,11	4,08
				0,08	2,37	1,924	1,908
0,030	42,1	16,18	16,17	0,088005	1,865	1,494	1,481
0,04	18,77	9,97	9,97	K edge			
0,05	10,20	6,25	6,24	0,088005	7,30	2,47	2,47
0,06	6,34	4,20	4,19				
0,08	3,07	2,19	2,18	0,10	5,78	2,28	2,28
				0,15	2,07	1,164	1,154
0,10	1,720	1,257	1,250	0,2	1,014	0,637	0,629
0,15	0,634	0,446	0,442	0,3	0,406	0,265	0,259
0,20	0,333	0,211	0,209				
0,30	0,1649	0,0853	0,0843	0,4	0,233	0,1474	0,1432

Inleiding tot de stralingshygiëne, Bos *et al.* (2^e druk 2007), blz. 268, Uit Tabel 11.1; Expositie-opbouwfactor voor isotrope puntbron

Tabel 11.1 Expositie-opbouwfactor voor isotrope puntbron

Materiaal	Foton-energie E (MeV)	μ d					
		1	2	4	7	10	15
Water	0,255	3,09	7,14	23,0	72,9	166	456
	0,5	2,52	5,14	14,3	38,8	77,6	178
	1,0	2,13	3,71	7,68	16,2	27,1	50,4
	2,0	1,83	2,77	4,88	8,46	12,4	19,5
	3,0	1,69	2,42	3,91	6,23	8,63	12,8
Aluminium	0,5	2,37	4,24	9,47	21,5	38,9	80,8
	1,0	2,02	3,31	6,57	13,1	21,2	37,9
	2,0	1,75	2,61	4,62	8,05	11,9	18,7
	3,0	1,64	2,32	3,78	6,14	8,65	13,0
IJzer	0,5	1,98	3,09	5,98	11,7	19,2	35,4
	1,0	1,87	2,89	5,39	10,2	16,2	28,3
	2,0	1,76	2,43	4,13	7,25	10,9	17,6
	3,0	1,55	2,15	3,51	5,85	8,51	13,5
Lood	0,5	1,24	1,42	1,69	2,00	2,27	2,65
	1,0	1,37	1,69	2,26	3,02	3,74	4,81
	2,0	1,39	1,76	2,51	3,66	4,84	6,87
	3,0	1,34	1,68	2,43	3,75	5,30	8,44

125I

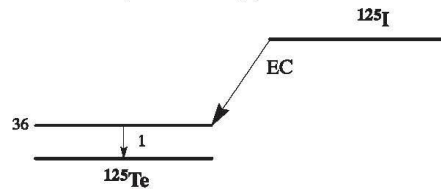
Z = 53

Halveringstijd en vervalconstante

$T_{1/2} = 59,39 \text{ d} = 5,13 \times 10^6 \text{ s}$

$\lambda = 1,35 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

Vervalschema (vereenvoudigd)



Belangrijkste uitgezonden straling

Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)	Straling	y (Bq·s) ⁻¹	E (keV)
γ_1	0,067	35	L α	0,061	4
ce K γ_1	0,803	4	L β	0,059	4
ce L γ_1	0,105	31	KLL	0,132	23
K α	1,140	27	KLX	0,060	26
K β	0,255	31	LMM	1,010	3
			LXY	0,590	4

Bronconstanten

Kermatempo in lucht	$k = 0,034 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,034 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

Diversen

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 6,51 \times 10^{14} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^3 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^6 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-12} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 1,5 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 20 \text{ TBq}$ $A_2 = 3 \text{ TBq}$

Productie en toepassingen

Het radionuclide ¹²⁵I is een cyclotronproduct. Het wordt toegepast in de nucleaire geneeskunde, onder meer bij brachytherapie. Het vindt tevens toepassing als gamma-referentiebron.

N = 72

125I

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 verblijft 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 (I₂) $f_1 = 1$ Klasse SR-1
 Damp (CH₃I) $f_1 = 1$ 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	
$e(50)(w)$	$1,5 \times 10^{-8}$	$7,3 \times 10^{-9}$	$1,4 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(w)$	$6,7 \times 10^7$	$1,4 \times 10^8$	$7,1 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	Bq
$e(50)(b)$	$1,5 \times 10^{-8}$	$5,3 \times 10^{-9}$	$1,4 \times 10^{-8}$	$1,1 \times 10^{-8}$	Sv/Bq
$A_{Re}(b)$	$6,7 \times 10^7$	$1,9 \times 10^8$	$7,1 \times 10^7$	$9,1 \times 10^7$	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	$6,1 \times 10^{-2}$	$5,3 \times 10^{-2}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$
1	$2,6 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$1,9 \times 10^{-1}$
2	$2,9 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$
3	$2,8 \times 10^{-1}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$2,6 \times 10^{-1}$	$2,0 \times 10^{-1}$
5	$2,7 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$2,5 \times 10^{-1}$	$1,9 \times 10^{-1}$
7	$2,6 \times 10^{-1}$	$1,3 \times 10^{-1}$	$2,4 \times 10^{-1}$	$1,8 \times 10^{-1}$

Vergunningsbijlage radionucliden-laboratorium, blz. 10, 11 en 12

2.2 Criteria ten aanzien van inwendige besmetting

2.2.1 Methode van begrenzing van de individuele handelingen

Voor de indeling van de handelingen is het risico op inwendige besmetting van belang. Bij de indeling is er vanuit gegaan dat inwendige besmetting in een radiologische werkruimte kan ontstaan door radioactieve stoffen die bij de handelingen worden verspreid. Zoals reeds gesteld, zal in het algemeen de mogelijke stralingsdosis, die ontstaat ten gevolge van inhalatie van een radioactieve stof door de daar aanwezige werknemers, bepalend zijn voor het risico. Wanneer wordt verwacht dat het risico vooral wordt bepaald door ingestie, dan zal dit moeten worden aangetoond en zal een andere systematiek moeten worden gekozen.

De hoeveelheid die kan worden geïnhaleerd, hangt af van de verspreidingskans bij een handeling, van de bescherming die de laboratoriumruimte biedt en van de lokale ventilatievoorziening. Voor de stralingsdosis die door een bepaalde inwendige besmetting wordt veroorzaakt, is de radiotoxiciteit van de geïnhaleerde stof van belang. Met het oog op het risico van inwendige besmetting zijn voor B-, C- en D- werkruimtes de toegestane werkhoeveelheden gebaseerd op de inhalatiedosiscoëfficiënt, verder aangeduid met $e(g)_{inh}$, voor stochastische effecten. Voor de berekeningen wordt gebruik gemaakt van deze $e(g)_{inh}$. De waarden hiervoor zijn gegeven in tabel 5 van bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming (Stb. 397, 2001). De feitelijke begrenzing wordt uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalenten voor inhalatie [Re_{inh}].

Met formule (2.1) kan de waarde worden bepaald van de maximaal toegelaten hoeveelheid toe te passen activiteit uitgedrukt in radiotoxiciteitsequivalent voor inhalatie [Re_{inh}] onder bepaalde genomen maatregelen of omstandigheden. Het betreft met name de kans op verspreiding, de bescherming door de ruimte en de lokale ventilatie. In deze formule zijn parameters opgenomen betreffende genoemde aspecten:

$$X_{max,j} = 0,02 * 10^{p+q+r} [Re_{inh}] \quad (2.1)$$

waarin:

- $X_{max,j}$ = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [Re_{inh}] dat maximaal per handeling j tegelijkertijd mag worden toegepast (X is onafhankelijk van het radionuclide)
- $0,02$ = dosislimiet voor blootgestelde werknemers [Sv]
- p = parameter voor de kans op verspreiding
- q = beschermingsparameter van de werkruimte
- r = parameter voor lokale ventilatievoorziening.

De maximale hoeveelheid radioactiviteit die van een radionuclide i onder die omstandigheden mag worden toegepast is derhalve, in formule:

$$A_{max,j,i} = \frac{X_{max,j}}{e(g)_{inh,i}} [Bq] \quad (2.2)$$

waarin:

- $A_{max,j,i}$ = maximaal toe te passen activiteit [Bq] voor handeling j en radionuclide i
- $X_{max,j}$ = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [Re_{inh}] dat maximaal per handeling j tegelijkertijd mag worden toegepast (X is onafhankelijk van het radionuclide)
- $e(g)_{inh,i}$ = inhalatiedosiscoëfficiënt [Sv/Bq] voor stochastische effecten van radionuclide i .

De $e(g)_{inh}$ en de parameters p , q en r worden hierna toegelicht.

Eerst worden de verschillende parameters uit de formule beschreven. Daarna wordt de berekening van de maximaal te gebruiken hoeveelheden behandeld.

2.2.2 Inhalatiedosiscoëfficiënt $e(g)_{inh}$

De waarde van de factor 10^{p+q+r} is de factor waarmee rekening moet worden gehouden bij de bepaling van de maximale hoeveelheid radioactiviteit waarmee mag worden gewerkt. Deze factor is een maat voor de hoeveelheid radioactiviteit die door besmetting een stralingsdosis kan veroorzaken.

Om de maximale hoeveelheid radioactiviteit te bepalen waarmee mag worden gewerkt moet de factor 10^{p+q+r} worden gedeeld door de inhalatiedosiscoëfficiënt $e(g)_{inh}$ en vermenigvuldigd met de dosislimiet voor blootgestelde werknemers voor stochastische effecten (0,02 Sv).

De inhalatiedosiscoëfficiënt $e(g)_{inh}$ wordt genomen uit tabel 5 van bijlage 4 van het Besluit stralingsbescherming.

2.2.3 Verspreidingsparameter p

De parameter p is ingevoerd om de kans op verspreiding van radioactieve stoffen in rekening te kunnen brengen. De kans op verspreiding hangt niet alleen samen met de vorm waarin de stof zich bevindt, maar eveneens met de aard van de handelingen. Hier wordt de parameter p bepaald door de kans op verspreiding van radioactieve stoffen bij bepaalde handelingen. Deze lijst is weergegeven in tabel 2.

Tabel 2: 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 spuiten 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

Een bijzondere toepassing is de elutie van een Mo/Tc generator. De handelingen kunnen worden beschouwd als handelingen met Tc-99m. Voor de opslag moet uiteraard worden uitgegaan van Mo-99.

In de praktijk zullen bewerkingen, die niet in de lijst voorkomen, een p -waarde moeten krijgen die aan handelingen met een vergelijkbare kans op verspreiding is toegekend.

2.2.4 Beschermingsparameter q

De hoeveelheid radioactiviteit die in een bepaalde werkruimte mag worden gehanteerd, is onder andere afhankelijk van de parameter q voor de bescherming die de ruimte biedt. Hierbij wordt het effect in rekening gebracht van de bescherming door de aanwezige voorzieningen zoals ventilatie, onderdruk en bijvoorbeeld een sluis. Tevens wordt rekening gehouden met de deskundigheid van de toezichthouder, de indeling als blootgestelde werknemer en een strenger toelatingsregime. 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.

2.2.5 Ventilatieparameter r

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.

De waarde die mag worden ingevuld voor de bepaling van de maximaal toe te passen hoeveelheid, moet in relatie worden gezien met de waarde van q . Om te waarborgen dat de hoeveelheden die mogen worden toegepast in de verschillende categorieën van laboratoria evenwichtig zijn, moet de waarde van r worden begrensd afhankelijk van die categorie. Daarom mag de waarde van r bij berekeningen nooit groter worden genomen dan die van q . Uiteraard mogen betere voorzieningen (dus met een hogere r) wel worden gebruikt.

2.2.6 Maximaal toegestane hoeveelheid radioactiviteit voor bepaalde handelingen

Het aantal radiotoxiciteitsequivalenten $X_{j,i}$, overeenstemmende met een bij handeling j toe te passen hoeveelheid activiteit $A_{j,i}$ van radionuclide i komt overeen met:

waarin:
$$X_{j,i} = A_{j,i} * e(g)_{inh,i} \tag{2.3}$$

- $X_{j,i}$ = aantal radiotoxiciteitsequivalenten [Re_{inh}] dat wordt gehanteerd bij de handeling j met radionuclide i
- $A_{j,i}$ = activiteit [Bq] die per handeling j met radionuclide i tegelijkertijd wordt toegepast
- $e(g)_{inh,i}$ = inhalatiedosiscoëfficiënt [Sv/Bq] voor stochastische effecten van radionuclide i .

Radiological Health Handbook (Public Health Service Publ. No. 2016, 1970),
p. 112 - Uitsnede uit de Uraniumreeks

Nuclide	Historical name	Half-life
$^{238}_{92}\text{U}$ 	Uranium I	$4.51 \times 10^9 \text{ y.}$
$^{234}_{90}\text{Th}$ 	Uranium X ₁	24.1d
$^{234}_{91}\text{Pa}^m$ 	Uranium X ₂	1.17m
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> 99.87% 0.13% </div> <div style="border: 1px solid black; width: 100%; height: 40px; margin: 5px 0;"></div> <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: right;"> $^{234}_{91}\text{Pa}$ </div> </div>	Uranium Z	6.75h
$^{234}_{92}\text{U}$ 	Uranium II	$2.47 \times 10^5 \text{ y}$
$^{230}_{90}\text{Th}$ 	Ionium	$8.0 \times 10^4 \text{ y}$
$^{226}_{88}\text{Ra}$ 	Radium	1602y
$^{222}_{86}\text{Rn}$ 	Emanation Radon (Rn)	3.823d
$^{218}_{84}\text{Po}$	Radium A	3.05m

Uitsnede uit de Karlsruhe Nuklidkarte

<p>U 228 9.1 m</p> <p>α 6.668, 6.59... γ 98, (246 187...), e⁻ ε</p>	<p>U 229 58 m</p> <p>ε α 6.362, 6.334 6.297 γ 123, 88, 199... e⁻</p>	<p>U 230 20.23 d</p> <p>α 5.888, 5.818... γ (72, 154 230...), e⁻ Ne22, α₁-25</p>	<p>U 231 4.2 d</p> <p>ε γ 25, 84, 102... e⁻ α 5.456, 5.471 5.404... α₁-250</p>	<p>U 232 68.9 a</p> <p>α 5.320, 5.263... γ (58, 129...), e⁻ Ne24, sf σ 73, α₁ 74</p>	<p>U 233 1.692·10⁹ a</p> <p>α 4.824, 4.783... γ (42, 97...), e⁻ β sf, Ne24, Mg28 σ 47, α₁ 530</p>	<p>U 234 0.0054 2.455·10⁵ a</p> <p>α 4.775, 4.722... γ (53, 121...), e⁻ sf, Mg28, Ne24, Ne26 σ 96, α₁ 0.07</p>	<p>U 235 0.7204</p> <p>26 m 7.033·10⁸ a α 4.395, 4.364... IT γ 186, 144... e⁻ (0.08) sf, Na, Mg α 95, α₁ 586 e⁻</p>	<p>U 236 120 ns 2.342·10⁷ a</p> <p>α 4.494 4.445... IT γ (49, 113...), e⁻, sf, Mg30 α 6.1</p>	<p>U 237 6.752 d</p> <p>β⁻ 0.2, 0.6... γ 60, 208... e⁻ σ ~100 α₁ < 0.35</p>	<p>U 238 99.2742</p> <p>280 ns 4.468·10⁹ a α 4.198... IT 2513 γ (50...), e⁻ 1879... sf, 23⁻, α 2.7 σ 3E-6</p>
<p>Pa 227 38.3 m</p> <p>α 6.466, 6.416... γ 65, 85, 110... ε γ 204, 151...</p>	<p>Pa 228 22 h</p> <p>ε, γ 911, 463 969, 965... α 6.076, 6.104 5.800, 6.117...</p>	<p>Pa 229 1.50 d</p> <p>ε, α 5.580 5.670, 5.615... γ (119, 40 146...), e⁻</p>	<p>Pa 230 17.4 d</p> <p>ε, β⁻ 0.5... α 5.345, 5.326... γ 952, 819, 455, 899 444... α 1500</p>	<p>Pa 231 3.276·10⁴ a</p> <p>α 5.014, 4.951 5.028, 5.059... γ 27, 300, 303... e⁻ Ne24, F237 σ 200, α₁ 0.020</p>	<p>Pa 232 1.31 d</p> <p>β⁻ 0.3, 1.3... α 969, 894, 150... e⁻ σ 460, α₁ 1500</p>	<p>Pa 233 27.0 d</p> <p>β⁻ 0.3, 0.6... γ 312, 300, 341... e⁻ α 20 + 19 α₁ < 0.1</p>	<p>Pa 234 1.169 m 6.70 h</p> <p>β⁻ 2.3... γ 1001 767... IT (74...), e⁻ α 883... e⁻ α₁ < 500 α₁ 4834</p>	<p>Pa 235 24.4 m</p> <p>β⁻ 1.4... γ (128 - 659) m</p>	<p>Pa 236 9.1 m</p> <p>β⁻ 2.0, 3.1... γ 642, 687 1763... g βsf?</p>	<p>Pa 237 8.7 m</p> <p>β⁻ 1.4, 2.3... γ 854, 865, 529 541...</p>
<p>Th 226 30.70 m</p> <p>α 6.337, 6.234... γ 111, (242 131...), e⁻</p>	<p>Th 227 18.697 d</p> <p>α 6.038, 5.978 5.757... γ 236, 50, 256... α 200</p>	<p>Th 228 1.9125 a</p> <p>α 5.423, 5.340... γ 84, (216...), e⁻ O20 σ 120, α₁ < 0.3</p>	<p>Th 229 7.0 μs 7920 a</p> <p>α 4.845, 4.901 4.815... IT (0.008) γ 194, 86, 211 e⁻ α 62.8, α₁ 30.8 α?</p>	<p>Th 230 7.54·10⁴ a</p> <p>α 4.687, 4.621... γ (68, 144...), e⁻ Ne24, sf?</p>	<p>Th 231 25.52 h</p> <p>β⁻ 0.3, 0.4... γ 26, 84... e⁻</p>	<p>Th 232 100 1.40·10¹⁰ a</p> <p>α 4.012, 3.947... γ (64...), e⁻, sf σ 7.37, α₁ 3E-6</p>	<p>Th 233 22.15 m</p> <p>β⁻ 1.2... γ 29, 86, 459... e⁻ α 1500 α₁ 15</p>	<p>Th 234 24.10 d</p> <p>β⁻ 0.2... γ 63, 92, 93... e⁻, m σ 1.8, α₁ < 0.01</p>	<p>Th 235 7.2 m</p> <p>β⁻ 1.7... γ 417, 727 696...</p>	<p>Th 236 37.5 m</p> <p>β⁻ 1.0... γ 111, (647 196...)</p>
<p>Ac 225 9.920 d</p> <p>α 5.830, 5.793 5.732... C14 γ 100, (150, 188 63...), e⁻</p>	<p>Ac 226 29.37 h</p> <p>β⁻ 0.9, 1.1 ε, α 5.40 γ 230, 158, 254 186...</p>	<p>Ac 227 21.772 a</p> <p>β⁻ 0.04... γ (38...), e⁻ α 4.953, 4.941... γ (100, 160...), e⁻ σ 890, α₁ < 3.5E-4</p>	<p>Ac 228 6.15 h</p> <p>β⁻ 1.2, 2.1... γ 911, 969, 338 965...</p>	<p>Ac 229 62.7 m</p> <p>β⁻ 1.1 γ 165, 569, 262 146, 135...</p>	<p>Ac 230 122 s</p> <p>β⁻ 2.9... γ 455, 508 1244...</p>	<p>Ac 231 7.5 m</p> <p>β⁻ γ 282, 307, 221 186, 369...</p>	<p>Ac 232 119 s</p> <p>β⁻ γ 665, 1899 1959, 1948 612...</p>	<p>Ac 233 145 s</p> <p>β⁻ γ 523, 540...</p>	<p>Ac 234 44 s</p> <p>β⁻ γ 1847, 1912 689, 1954...</p>	<p>Ac 235 62 s</p> <p>β⁻</p>
<p>Ra 224 3.6319 d</p> <p>α 5.6854 5.4486... γ 241... C14 σ 12.0</p>	<p>Ra 225 14.9 d</p> <p>β⁻ 0.3, 0.4 γ 40, e⁻</p>	<p>Ra 226 1600 a</p> <p>α 4.7843 4.601... γ 186... C14 σ 12.8, α₁ < 5E-5</p>	<p>Ra 227 42.2 m</p> <p>β⁻ 1.3... γ 27, 300, 303 284, 330... e⁻</p>	<p>Ra 228 5.75 a</p> <p>β⁻ 0.04... γ (14, 16...), e⁻ α 36, α₁ < 2</p>	<p>Ra 229 4.0 m</p> <p>β⁻ 1.8 γ</p>	<p>Ra 230 93 m</p> <p>β⁻ 0.7... γ 72, 63, 203 470... e⁻</p>	<p>Ra 231 104 s</p> <p>β⁻ γ 410, 54, 469 205, 456, 513...</p>	<p>Ra 232 4.2 m</p> <p>β⁻ γ 471, 98, 479 105, 373</p>	<p>Ra 233 30 s</p> <p>β⁻</p>	<p>Ra 234 30 s</p> <p>β⁻</p>
<p>Fr 223 21.8 m</p> <p>β⁻ 1.1... α 5.34 γ 50, 80, 235...</p>	<p>Fr 224 3.33 m</p> <p>β⁻ 2.8, 3.0... γ 216, 132, 837 1341...</p>	<p>Fr 225 4.0 m</p> <p>β⁻ 1.6... γ 182, 32, 225 200...</p>	<p>Fr 226 48 s</p> <p>β⁻ 3.2, 3.5... γ 254, 186 1323...</p>	<p>Fr 227 2.47 m</p> <p>β⁻ 1.8, 2.4... γ 90, 586, 64 434, 102...</p>	<p>Fr 228 38 s</p> <p>β⁻ γ 474, 410, 141 949... e⁻</p>	<p>Fr 229 50.2 s</p> <p>β⁻ γ 310, 336, 143 350...</p>	<p>Fr 230 19.1 s</p> <p>β⁻ γ 711, 129, 728 677, 735...</p>	<p>Fr 231 17.6 s</p> <p>β⁻ γ 433, 454, 96 525...</p>	<p>Fr 232 5 s</p> <p>β⁻ γ 125</p>	<p>Fr 233 >160 ns</p> <p>β⁻?</p>
<p>Rn 222 3.8235 d</p> <p>α 5.48948... γ (510) σ 0.74</p>	<p>Rn 223 23.2 m</p> <p>β⁻ γ 593, 417, 636 655...</p>	<p>Rn 224 107 m</p> <p>β⁻ γ 261, 266...</p>	<p>Rn 225 4.5 m</p> <p>β⁻ γ 29 - 207...</p>	<p>Rn 226 7.4 m</p> <p>β⁻</p>	<p>Rn 227 20.2 s</p> <p>β⁻ γ 162, 739, 686 805, 133... e⁻</p>	<p>Rn 228 65 s</p> <p>β⁻ γ 125, 63, 156 112...</p>	<p>Rn 229 12 s</p> <p>β⁻</p>	<p>Rn 230 >160 ns</p> <p>β⁻?</p>	<p>Rn 231 >300 ns</p> <p>β⁻?</p>	<p>Rn 232 >300 ns</p> <p>β⁻?</p>