

**BIJLAGE bij**  
**Gecoördineerd examen stralingsbescherming**  
**Deskundigheidsniveau 3**

---

|  |         |
|--|---------|
| 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: 11 mei 2015  
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

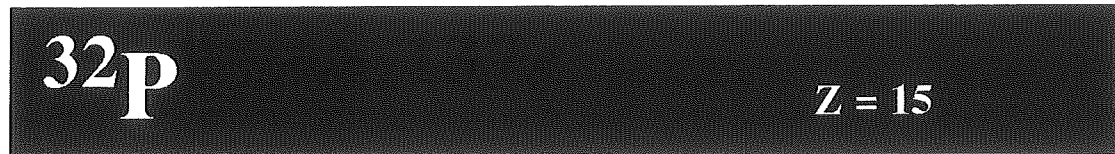
**Instructie:**

- 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

| Pagina |   |
|--------|---|
| 3-4    | Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2 <sup>e</sup> druk 2007), blz. 32-33: <sup>32</sup> P  |
| 5-7    | Vergunningsbijlage 'Bijlage radionuclidenlaboratoria', blz. 10, 11, 12  |
| 8      | Tabel 1: Omgevingsdosisequivalent ( $\mu$ Sv) op verschillende afstanden en posities rond de patiënt bij een therapeutische dosis elektronenstraling van 10 Gy  |
| 8      | Tabel 2: Gemeten halfwaarde- en tiendewaardediktes (HVL resp. TVL) voor brede bundels fotonenstraling voor lood, beton en ijzer als functie van de toegepaste elektronenversnelspanning tijdens IORT<br>Uit: Introduction to Health Physics, Herman Cember, third edition |
| 9-10   | Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2 <sup>e</sup> druk 2007), blz. 172-173: <sup>137</sup> Cs  |
| 11     | Vereenvoudigd vervalschema van <sup>207</sup> Bi  |
| 12     | Fotonenspectra gemeten aan de <sup>207</sup> Bi-bron  |
| 13     | Tabel met kwantitatieve gegevens bij de fotonenspectra  |
| 14     | Door 83-Bismut-207 uitgezonden straling   |

Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2<sup>e</sup> druk 2007),  
blz. 32-33: <sup>32</sup>P

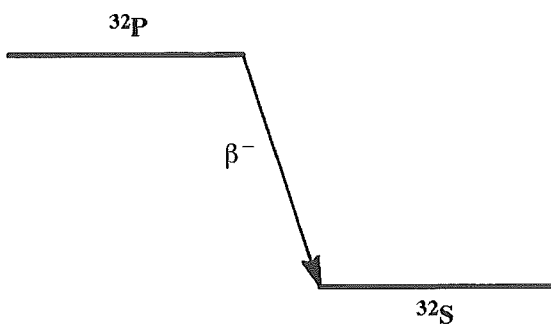


#### Halveringstijd en vervalconstante

$$T_{1/2} = 14,29 \text{ d} = 1,23 \times 10^6 \text{ s}$$

$$\lambda = 5,61 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$$

#### Vervalschema (vereenvoudigd)



#### Belangrijkste uitgezonden straling

| Straling  | $y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$ | $E \text{ (keV)}$ |
|-----------|------------------------------------|-------------------|
| $\beta^-$ | 1,000                              | 695   1710        |

#### Diversen

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Specifieke activiteit    | $A_{sp} = 1,06 \times 10^{16} \text{ Bq/g}$                    |
| Vrijstellingsgrenzen     | $C_v = 10^3 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^5 \text{ Bq}$           |
| Huidbesmetting           | $H_{\text{huid}} = 6 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$ |
| Wondbesmetting; Injectie | $e(50) = 2,2 \times 10^{-9} \text{ Sv/Bq}$                     |
| Vervoer                  | $A_1 = 0,5 \text{ TBq}$<br>$A_2 = 0,5 \text{ TBq}$             |

#### Productie en toepassingen

Het radionuclide <sup>32</sup>P is een activeringsproduct. Het nuclide wordt toegepast bij medisch-biologisch onderzoek als merker.

N = 17

32P

**Metabool model**

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat fosfor zich vanuit het bloed als volgt verdeelt: 15% directe uitscheiding, 15% naar intracellulaire vloeistof, 40% naar zacht weefsel en 30% naar bot. De aangenomen biologische halveringstijden zijn:

|                |          |
|----------------|----------|
| Bloed          | 0,5 d    |
| Intracellulair | 2 d      |
| Zachte weefsel | 19 d     |
| Bot            | oneindig |

**Ingestie- en longzuiveringsklassen****Ingestie**

Alle verbindingen  $f_1 = 0,8$

**Inhalatie**

Fosfaat van Zn, Sn, Mg, Fe, Bi, lantaniden  $f_1 = 0,8$  Klasse M

Overige verbindingen  $f_1 = 0,8$  Klasse F

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

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

**Gegevens voor urine-analyse**

Na eenmalige inname

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

## Vergunningsbijlage 'Bijlage radionuclidenlaboratorium', blz.10, 11, 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 gehaleerd, 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 gehaleerde 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  $10^{p \cdot q \cdot r}$  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  $10^{p \cdot q \cdot r}$  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<br>Hanteren van poeders in 'open' systeem bijvoorbeeld mengen of malen<br>Vloeistof met temperatuur tegen kookpunt<br>Sterk spattende bewerkingen  | - 4 |
| Labeling met vluchtig nuclide (bijv. jodium)<br>Koken van vloeistoffen in 'gesloten' systeem<br>Centrifugeren en mengen op vortex<br>Eenvoudige bewerking van poeders in 'gesloten' systeem<br>Opslag van edelgas in toediensysteem  | - 3 |
| Labeling met niet-vluchtig nuclide<br>Eenvoudige chemische bepaling met tracers (bijv. RIA)  | - 2 |
| Eenvoudige handelingen in 'gesloten' systemen zoals:<br>Elutie Tc-generator<br>Optrekken van spuiten<br>Labeling in gesloten systemen<br>Kalibratie I-131 capsule<br>Metingen aan stoffen in moeilijk verspreidbare vorm (bijvoorbeeld in ampul)<br>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:

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

- $X_{j,i}$  = 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  $i$ .

**Tabel 1:** Omgevingsdosisequivalent ( $\mu\text{Sv}$ ) op verschillende afstanden en posities rond de patiënt bij een therapeutische dosis van 10 Gy.

De afstanden zijn tot de bestraalde plaats in de patiënt. De hoeken zijn ten opzichte van de elektronenbundelrichting, waarbij  $0^\circ$  de doorgaande richting is.

| Angle( $^\circ$ ) | Distance D (m) |        |        |        |       |       |       |       |       |       |
|-------------------|----------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                   | 1              | 2      | 3      | 4      | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 0                 | 1689.89        | 422.47 | 187.77 | 105.62 | 67.60 | 46.94 | 34.49 | 26.40 | 20.86 | 16.90 |
| 15                | 755.06         | 188.76 | 83.90  | 47.19  | 30.20 | 20.97 | 15.41 | 11.80 | 9.32  | 7.55  |
| 30                | 565.15         | 141.29 | 62.79  | 35.32  | 22.61 | 15.70 | 11.53 | 8.83  | 6.98  | 5.65  |
| 45                | 300.00         | 75.00  | 33.33  | 18.75  | 12.00 | 8.33  | 6.12  | 4.69  | 3.70  | 3.00  |
| 60                | 148.12         | 37.03  | 16.46  | 9.26   | 5.92  | 4.11  | 3.02  | 2.31  | 1.83  | 1.48  |
| 90                | 60.03          | 15.01  | 6.67   | 3.75   | 2.40  | 1.67  | 1.23  | 0.94  | 0.74  | 0.60  |
| 120               | 20.20          | 5.05   | 2.24   | 1.26   | 0.81  | 0.56  | 0.41  | 0.32  | 0.25  | 0.20  |
| 150               | 8.04           | 2.01   | 0.89   | 0.50   | 0.32  | 0.22  | 0.16  | 0.13  | 0.10  | 0.08  |
| 180               | 3.20           | 0.80   | 0.36   | 0.20   | 0.13  | 0.09  | 0.07  | 0.05  | 0.04  | 0.03  |

Tab. 1:  $H^*(10)$  values in  $\mu\text{Sv}$  per 10 Gy to the patient.

**Tabel 2:** Gemeten halfwaarde- en tiendewaardediktes (*HVL* resp. *TVL*) voor brede bundels fotonenstraling voor lood, beton en ijzer als functie van de toegepaste elektronenversnelling tijdens IORT.

Uit: Introduction to Health Physics, Herman Cember, third edition.

| Elektronen-<br>versnelling<br>(MV) | HVL          | TVL          | HVL           | TVL           | HVL           | TVL           |
|------------------------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                    | Lood<br>(mm) | Lood<br>(mm) | Beton<br>(cm) | Beton<br>(cm) | IJzer<br>(cm) | IJzer<br>(cm) |
| 1                                  | 7,9          | 26           | 4,4           | 14,7          |               |               |
| 2                                  | 12,5         | 42           | 6,4           | 21            |               |               |
| 3                                  | 14,5         | 48,5         | 7,4           | 24,5          |               |               |
| 4                                  | 16           | 53           | 8,8           | 29,2          | 2,7           | 9,1           |
| 6                                  | 16,9         | 56           | 10,4          | 34,5          | 3             | 9,9           |
| 8                                  | 16,9         | 56           | 11,4          | 37,8          | 3,1           | 10,3          |
| 10                                 | 16,6         | 55           | 11,9          | 39,6          | 3,2           | 10,5          |



Handboek Radionucliden, A.S. Keverling Buisman (2<sup>e</sup> druk 2007),  
blz. 172-173: <sup>137</sup>Cs

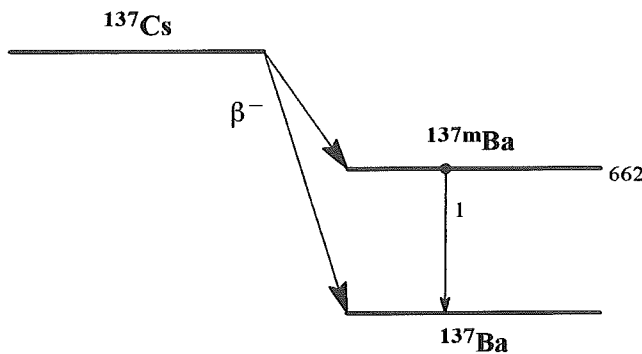
# 137Cs Z = 55

**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**

Van <sup>137m</sup>Ba ( $T_{1/2} = 2,55 \text{ m}$ ;  $y = 0,946$ ):

| Straling  | $y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$ | $E \text{ (keV)}$ | Straling        | $y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$ | $E \text{ (keV)}$ |
|-----------|------------------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------|
| $\beta^-$ | 0,946                              | 173   512         | $\gamma_1$      | 0,898                              | 662               |
| $\beta^-$ | 0,054                              | 425   1173        | ce K $\gamma_1$ | 0,083                              | 624               |

**Bronconstanten (van dochter <sup>137m</sup>Ba in evenwicht met <sup>137</sup>Cs)**

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

**Diversen**

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

**Productie en toepassingen**

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

N = 82

 **$^{137}\text{Cs}$** **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    |

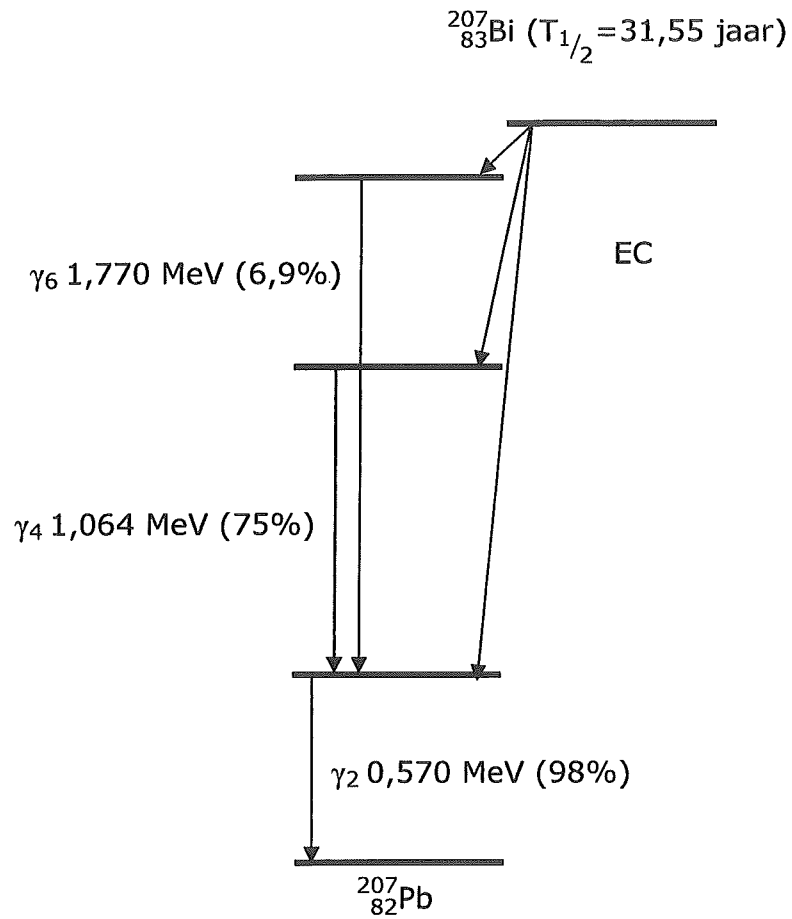
**Gegevens voor totale-lichaamstelling**

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        | $8,8 \times 10^{-1}$                  | $4,2 \times 10^{-1}$ |

### Vereenvoudigd vervalschema van $^{207}\text{Bi}$

$Q = 2,398 \text{ MeV}$



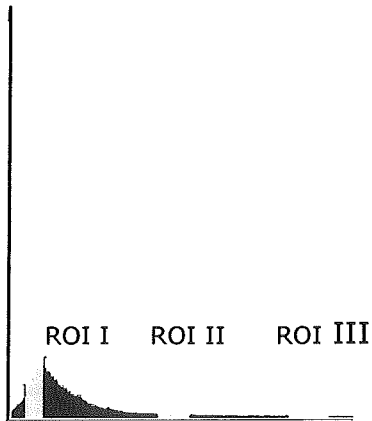
### Fotonenspectra gemeten aan de <sup>207</sup>Bi-bron

Teltijd van alle spectra was 10 minuten. Bij de metingen aan de bron, was de afstand van de bron tot de bovenkant detector steeds 10 cm.

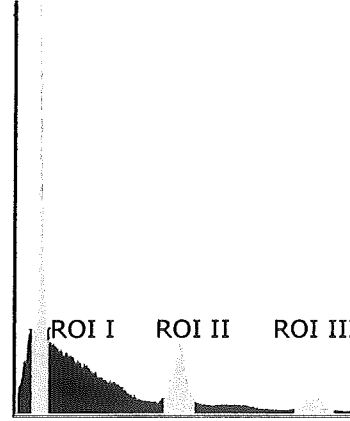
De pieken vallen in de gemarkeerde gebieden: de ROI's. De grenswaarden voor de ROI's zijn:

ROI I van 54 – 113 keV; II van 517 – 626 keV; III van 994 – 1141 keV.

Voor de meetwaarden, zie de tabel op de volgende pagina (Bijlage 4).

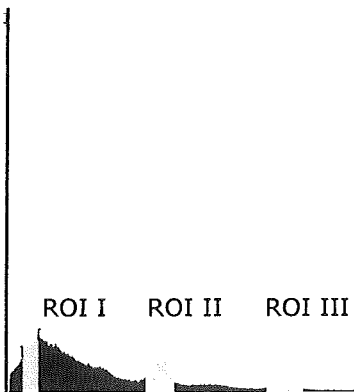


**Achtergrondspectrum**



**Spectrum 1**

<sup>207</sup>Bi-bron onafgeschermd

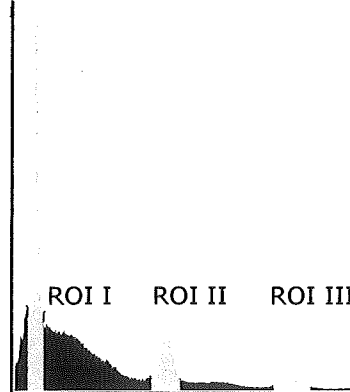
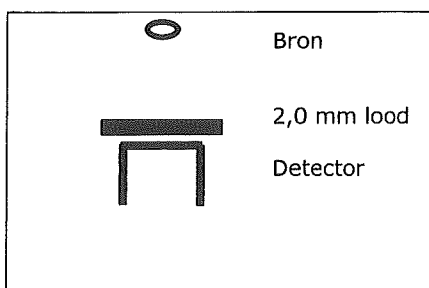


**Spectrum 2A**

<sup>207</sup>Bi-bron afgeschermd,  
2,0 mm dikke loden plaat tussen  
loden plaat  
bron en detector



**Situatie 2A** zijaanzicht:



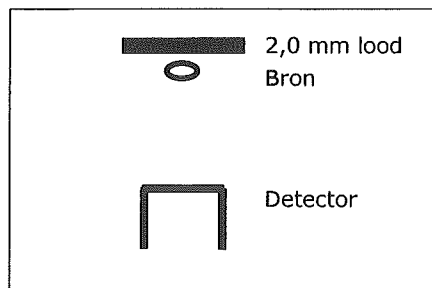
**Spectrum 2B**

<sup>207</sup>Bi-bron onafgeschermd,  
2,0 mm dikke

bovenop de bron



**Situatie 2B** zijaanzicht:



**Tabel met kwantitatieve gegevens bij de fotonenspectra**

Getabelleerd is het totaal aantal counts netto, dus reeds gecorrigeerd voor de achtergrond, in 10 minuten in het betreffende meetgebied. De dode tijd correctie is eveneens al verwerkt.

|                        | <b>ROI I</b><br>54 – 113<br>keV | <b>ROI II</b><br>517 – 626<br>keV | <b>ROI III</b><br>994–1141<br>keV | <b>Hele<br/>breedte</b><br>6 – 1147 keV |
|------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|
|                        | counts netto                    | counts netto                      | counts netto                      | counts netto                            |
| <b>Spectrum 1</b>      | 104.695                         | 40.849                            | 13.295                            | 259.534                                 |
| <b>Spectrum<br/>2A</b> | 8.569                           | 31.630                            | 11.635                            | 120.979                                 |
| <b>Spectrum<br/>2B</b> | 112.012                         | 40.938                            | 13.451                            | 275.510                                 |

## Door 83-Bismut-207 uitgezonden straling

| Straling       | $\gamma$ (i)<br>(Bq·s) <sup>-1</sup>   | E (i)<br>(keV) |
|----------------|--|----------------|
| $\beta^+$      | $1,20 \cdot 10^{-4}$                   | 383            |
| $\gamma^{\pm}$ | $2,40 \cdot 10^{-4}$                   | 511            |
| <b>gamma 1</b> | <b><math>6,70 \cdot 10^{-6}</math></b> | <b>328</b>     |
| ce-K, gamma 1  | $1,91 \cdot 10^{-6}$                   | 240            |
| ce-L, gamma 1  | $3,26 \cdot 10^{-7}$                   | 312            |
| ce-M, gamma 1  | $7,63 \cdot 10^{-8}$                   | 324            |
| ce-N+, gamma 1 | $2,47 \cdot 10^{-8}$                   | 327            |
| <b>gamma 2</b> | <b>0,977</b>                           | <b>570</b>     |
| ce-K, gamma 2  | 0,016                                  | 482            |
| ce-L, gamma 2  | 0,004                                  | 554            |
| <b>gamma 3</b> | <b>0,001</b>                           | <b>898</b>     |
| ce-K, gamma 3  | $2,43 \cdot 10^{-5}$                   | 810            |
| ce-L, gamma 3  | $4,04 \cdot 10^{-6}$                   | 882            |
| <b>gamma 4</b> | <b>0,745</b>                           | <b>1.064</b>   |
| ce-K, gamma 4  | 0,072                                  | 976            |
| ce-L, gamma 4  | 0,018                                  | 1.048          |
| ce-M+, gamma 4 | 0,006                                  | 1.061          |
| <b>gamma 5</b> | <b>0,001</b>                           | <b>1.442</b>   |
| ce-K, gamma 5  | $3,55 \cdot 10^{-6}$                   | 1.354          |
| ce-L, gamma 5  | $6,11 \cdot 10^{-7}$                   | 1.426          |
| <b>gamma 6</b> | <b>0,069</b>                           | <b>1.770</b>   |
| Kalpha1 X-ray  | 0,366                                  | 75,0           |
| Kalpha2 X-ray  | 0,218                                  | 72,8           |
| Kbeta X-ray    | 0,163                                  | 84,9           |
| L X-ray        | 0,332                                  | 10,6           |
| Auger-K        | 0,028                                  | 56,7           |
| Auger-L        | 0,544                                  | 7,97           |

Tabel overgenomen uit <http://www.orau.org> library nuclidedata