

## Gecoördineerd examen stralingsbescherming Deskundigheidsniveau 3

---

Nuclear Research and Consultancy Group	NRG
Technische Universiteit Delft	TUD
Boerhaave/IRS-stralingsbeschermingscursussen	BHC/IRS
Rijksuniversiteit Groningen	RUG
Radboud Universiteit/ UMC St.Radboud	RU/UMC

---

examendatum: 11 mei 2009  
examenduur: 13.30 - 16.30 uur

<b>Instructie:</b>
--------------------

- ❑ **Deze examenopgaven omvatten 15 genummerde pagina's. Wilt u dit controleren!**
- ❑ Schrijf uw oplossingen en antwoorden op de daartoe verstrekte uitwerkbladen. Ook alle niet gebruikte uitwerkbladen en het grafiekenpapier dient u in te leveren.
- ❑ Vermeld **alleen uw examenummer** op de uitwerkbladen (dus niet uw naam en adres).
- ❑ Het is geoorloofd boeken, persoonlijke aantekeningen en ander documentatiemateriaal te raadplegen voor het beantwoorden van de vragen.
- ❑ *Met nadruk wordt erop gewezen dat u ook dient aan te geven via welke **berekeningsmethode** en volgens welke **beredenering** u tot de oplossing komt.*
- ❑ Indien u een onderdeel van een vraagstuk niet kunt uitrekenen en het antwoord nodig is voor het oplossen van de rest van het vraagstuk, mag u uitgaan van een fictief antwoord.
- ❑ Voor sommige vraagstukken behoeven niet alle gegevens noodzakelijkerwijs te worden gebruikt.
- ❑ In totaal kunt u 67 punten behalen bij het goed oplossen van de vraagstukken. De puntenverdeling over de vraagstukken is als volgt:
  - vraagstuk 1 : 15 punten
  - vraagstuk 2 : 17 punten
  - vraagstuk 3 : 18 punten
  - vraagstuk 4 : 17 punten



## Vraagstuk 1      Afscherming $^{60}\text{Co}$ -bestralingsfaciliteit

Een  $^{60}\text{Co}$ -bron van  $3,7 \times 10^{12}$  Bq is bestemd voor bestralingsexperimenten. De bron bevindt zich in een uranium bronhouder, opgesteld in een bestralingsruimte (kelder) met betonnen wanden en plafond. In rustpositie is de bron alzijdig omgeven door een even dikke laag uranium. In bestralingspositie treedt een horizontale bundel gammastraling uit de bronhouder via een opening met sluiters en diafragma, in de richting van één van de wanden van de bestralingsruimte. De buitenzijde van deze wand is 4,0 m verwijderd van de bron. De wanden van de bestralingsruimte bestaan alle uit een vaste laag van 30 cm beton. Aan de binnenzijde kan waar nodig een hoeveelheid aanvullend afschermingsmateriaal worden aangebracht.

### Gegevens:

- De bron mag worden beschouwd als een isotrope puntbron.
- De omgevingsdosisequivalenttempoconstante van  $^{60}\text{Co}$  bedraagt  $0,36 \mu\text{Sv m}^2 \text{h}^{-1} \text{MBq}^{-1}$ .
- Er hoeft in dit vraagstuk geen rekening te worden gehouden met het feit dat verarmd uranium van zichzelf ook radioactief is en daardoor een dosistempo produceert.
- In dit vraagstuk zijn het dosisequivalent, het omgevingsdosisequivalent en de effectieve dosis numeriek aan elkaar gelijk gesteld.
- **Figuur 1:** *Situatieschets van de bestralingsruimte.*
- **Figuur 2:** *Transmissie van brede bundels  $^{60}\text{Co}$  gammastraling door verschillende afschermingsmaterialen.*
- **Figuur 3:** *Transmissie van brede bundels gammastraling door beton.*

### Vraag 1

Hoe dik (in gehele cm) moet de wand van de bronhouder van uranium zijn, opdat in de rustpositie het omgevingsdosisequivalenttempo veroorzaakt door de lekstraling op 1 m van de bron ten hoogste  $1 \mu\text{Sv h}^{-1}$  bedraagt?

De bron bevindt zich gemiddeld 2 uur per werkweek in de bestralingspositie. Er worden gewoonlijk objecten bestraald die kleiner zijn dan de bundeldoorsnede, zodat de bundel ook de verderop gelegen wand van de bestralingsruimte treft. Achter deze wand bevindt zich een gang. Als eis wordt gesteld dat een persoon daar geen hogere effectieve dosis mag ontvangen dan  $5 \mu\text{Sv}$  in een week. Deze persoon wordt geacht zich gemiddeld slechts een kwart van de bestralingstijd op de gang te bevinden ter hoogte van de bundel (d.w.z. de aanwezigheidsfactor =  $\frac{1}{4}$ ). Om aan deze eis te voldoen moet in de bestralingsruimte een additionele laag afscherming worden aangebracht.

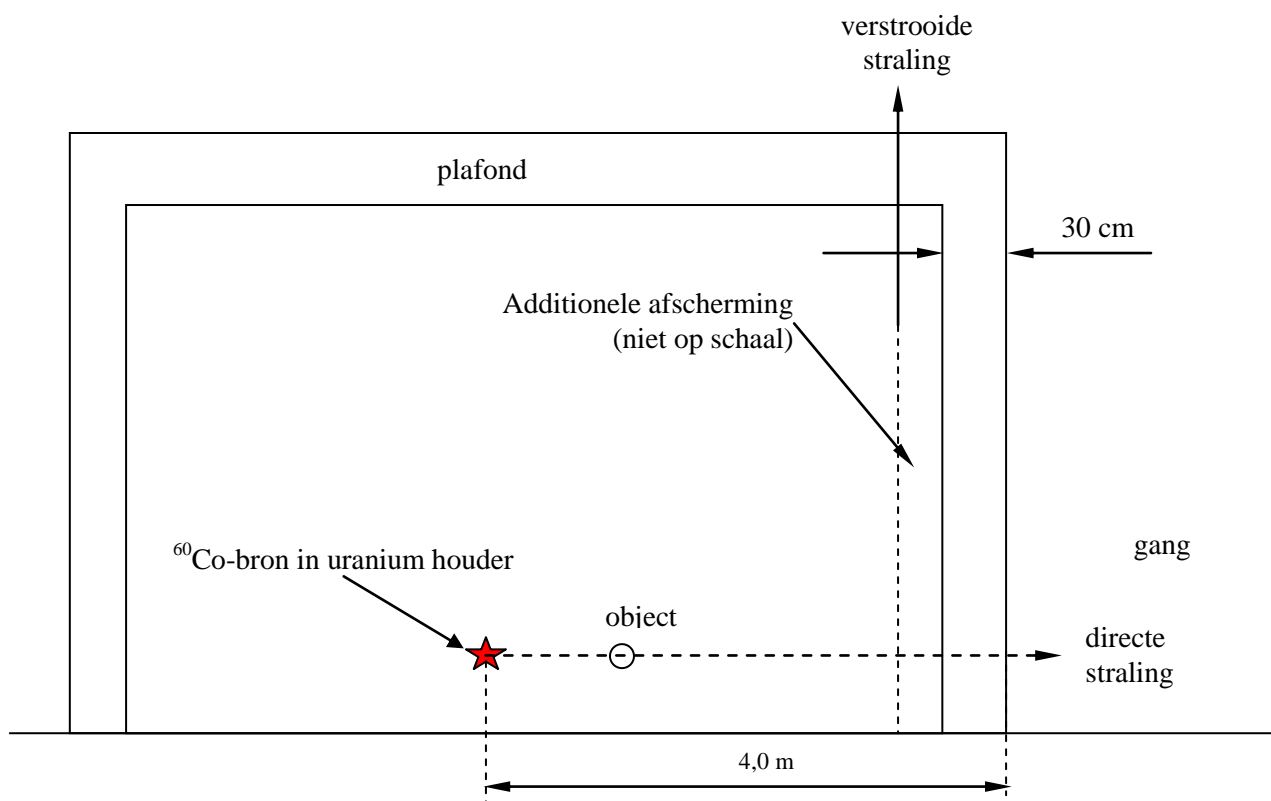
### Vraag 2

Hoe dik (in gehele cm) moet de additionele afscherming van beton zijn, om in de gang aan de gestelde eis te voldoen?

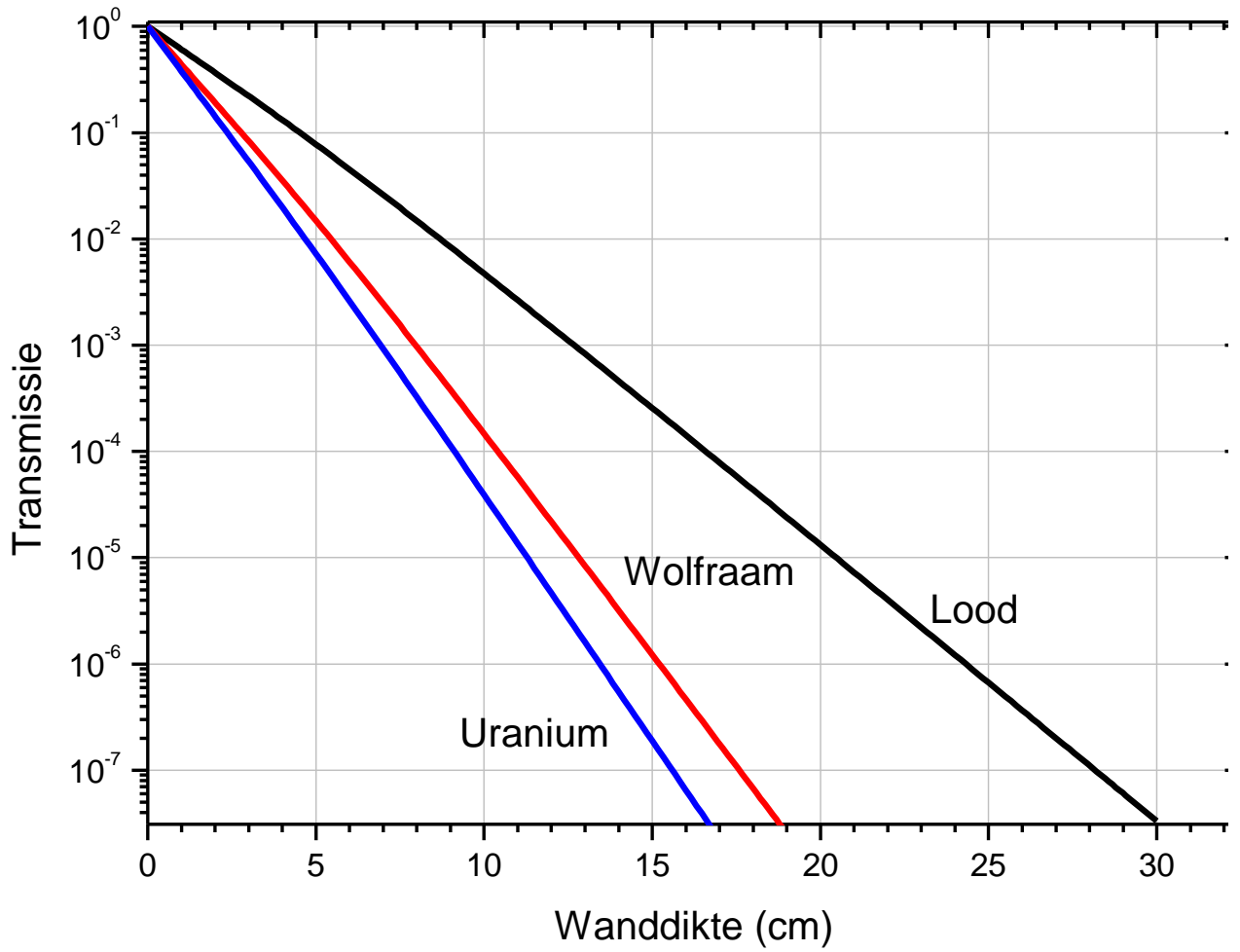
Behalve de directe straling is er ook de indirecte (d.w.z. de verstrooide) straling. De vraag is of de in vraag 2 berekende betonafscherming een te hoog dosistempo kan veroorzaken aan de buitenzijde van het plafond van de bestralingsruimte. U beschouwt daartoe de straling die wordt verstrooid onder een hoek van  $90^\circ$  met de invalrichting van de primaire bundel. Uit de literatuur blijkt dat  $H^*(10)$  tengevolge van de verstrooide straling op 1 m van het verstrooiingscentrum op de wand, per  $100 \text{ cm}^2$  bestraald muuroppervlak, circa  $2 \times 10^{-3}\%$  bedraagt van de waarde van  $H^*(10)$  in het centrum van de primaire bundel. De doorsnede van de primaire bundel bedraagt  $100 \text{ cm}^2$  op 1 m van de bron. De bovenzijde van het plafond bevindt zich op ten minste 3 m van het verstrooiingscentrum. Boven het plafond ligt een gang, waarvoor eveneens de eis van  $5 \mu\text{Sv}$  in een week geldt. De effectieve energie van de verstrooide straling kan voor de transmissieberekeningen op 0,5 MeV worden gesteld.

### Vraag 3

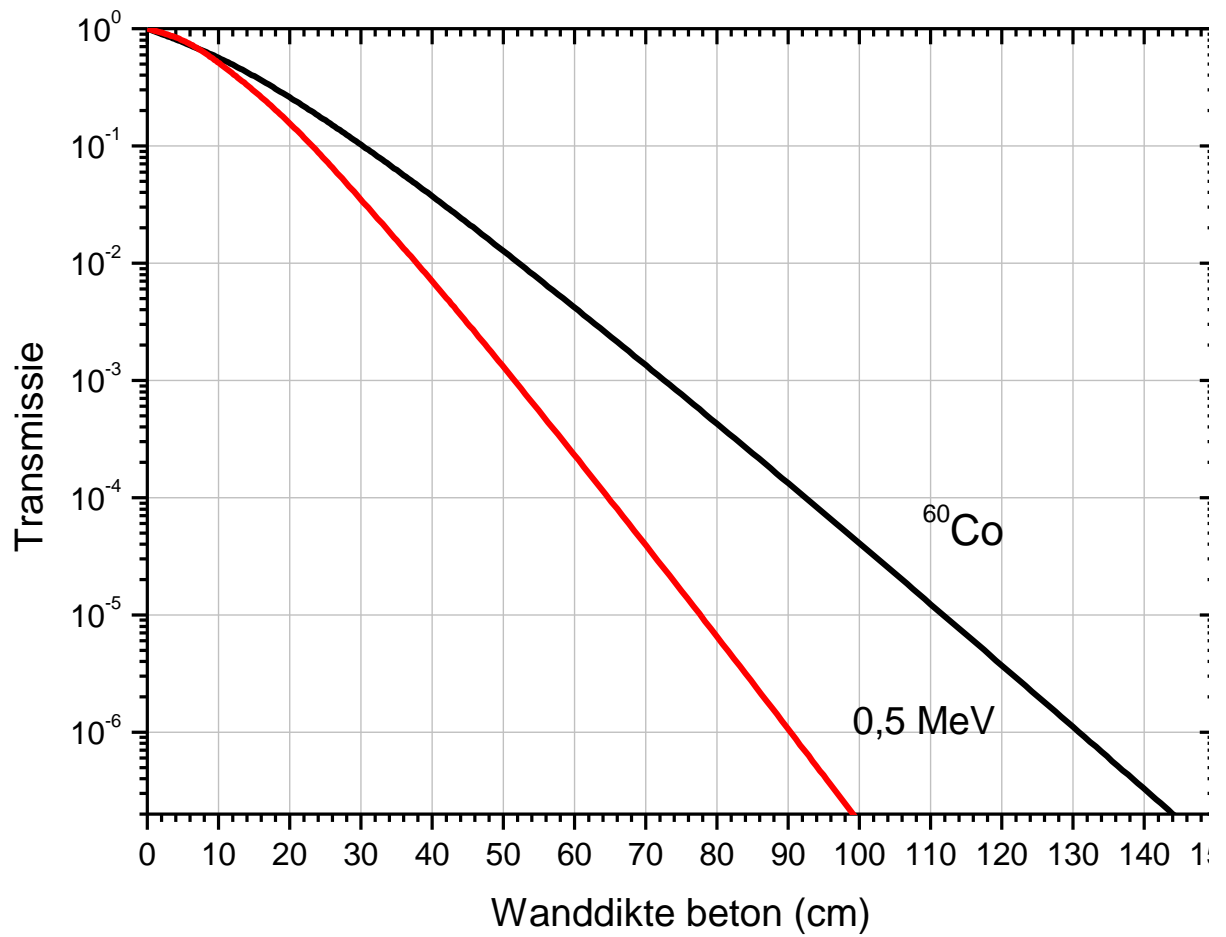
Toon aan dat het plafond voldoende dik is (verstrooiing en absorptie van de straling in het object mogen worden verwaarloosd).



**Figuur 1:** Verticale doorsnede van de bestralingsruimte (niet op schaal).



**Figuur 2:** Transmissie van brede bundels  $^{60}\text{Co}$  gammastraling door verschillende afschermingsmaterialen.



**Figuur 3:** *Transmissie van brede bundels gammastraling door beton.*

## Vraagstuk 2      Vervoer van $^{13}\text{N}$

Een afdeling Nucleaire Geneeskunde produceert ten behoeve van biologisch onderzoek maandelijks een  $^{13}\text{N}$ -houdend preparaat (vaste stof), dat vervolgens door een transporteur naar het betrokken onderzoekslaboratorium wordt vervoerd. Omdat noch in het Handboek Radionucliden noch in Bijlage 4 van het Besluit Stralingsbescherming het nuclide  $^{13}\text{N}$  is opgenomen, mag bij de berekeningen in deze opgave uitgegaan worden van de gegevens die via de website <http://www.nndc.bnl.gov/mird/> beschikbaar zijn. Deze gegevens zijn vermeld in **Figuur 1**.

### Gegevens:

- MIRD-gegevens van  $^{13}\text{N}$  (zie **Figuur 1**).
- Als vuistregel voor de omgevingsdosisequivalenttempoconstante  $h$  mag worden gebruikt:
 
$$h(10) \approx \frac{1}{6} \sum_i y_i \times E_i \text{ in } \mu\text{Sv/h per MBq op 1 m, waarbij } y \text{ en } E \text{ respectievelijk de}$$
 emissiewaarschijnlijkheid en energie (in MeV) van de uitgezonden fotonen zijn.
- Per keer wordt 4 GBq  $^{13}\text{N}$  in niet-speciale toestand vervoerd (activiteit bij aanvang van het transport).
- De verpakking is zodanig dat de afstand tussen preparaat en buitenoppervlak van het collo tenminste 20 cm bedraagt.
- Het vervoer naar het laboratorium duurt 15 minuten en vindt maandelijks plaats.
- Tijdens het vervoer bevindt de chauffeur zich op een afstand van 2 m van het preparaat.
- De A1- en A2-waarde voor  $^{13}\text{N}$  bedragen respectievelijk 0,9 en 0,6 TBq; voor vaste stoffen in niet-speciale toestand geldt als grenswaarde per collo:  $10^{-3} \text{ A2}$ .
- Het toegelaten maximale dosistempo in de cabine van de vrachtauto bedraagt  $20 \mu\text{Sv/h}$ .
- De halveringsdikte van lood voor fotonen uitgezonden door  $^{13}\text{N}$  bedraagt 6 mm (ontleend aan 'Inleiding tot de stralingshygiëne', A.J.J. Bos et al, appendix F). Bij deze opgave mag voor de build-up factor de waarde  $B = 1,6$  worden genomen.

### Vraag 1

Schat aan de hand van de gegeven vuistregel de omgevingsdosisequivalenttempoconstante  $h(10)$  van  $^{13}\text{N}$ .

### Vraag 2

Bepaal in welk soort verpakking het preparaat dient te worden vervoerd.

### Vraag 3

Bereken de dikte (in gehele cm) van de loodafscherming in de verpakking die nodig is om te voldoen aan beide eisen voor het dosistempo buiten de verpakking.

**Vraag 4**

Toon door berekening aan dat het dosistempo in de cabine, uitgaande van de bij vraag 3 berekende afscherming in hele cm, onder de  $20 \mu\text{Sv/h}$  blijft.

**Vraag 5**

Bereken de effectieve jaardosis van de chauffeur ten gevolge van het transport van deze  $^{13}\text{N}$ -preparaten. U mag bij deze berekening de activiteit tijdens het vervoer gelijk stellen aan de activiteit na 7,5 minuten en verder mag  $H^*(10)$  worden gelijkgesteld aan  $E$ .

<b>7-NITROGEN-13</b>			
Half-life = 9.965 Minutes		Jun-2000	
Decay Mode: EC+ $\beta^+$			
Radiations	$y(i)$ (Bq-s) <sup>-1</sup>	E(i) (MeV)	$y(i) \times E(i)$
$\beta^+$ 1	$9.98 \times 10^{-01}$	$4.918 \times 10^{-01}$ *	$4.91 \times 10^{-01}$
$\gamma^\pm$	2.00	$5.110 \times 10^{-01}$	1.02
K X-ray	$3.72 \times 10^{-06}$	$2.000 \times 10^{-04}$ *	$7.44 \times 10^{-10}$
Auger-K	$1.86 \times 10^{-03}$	$2.600 \times 10^{-04}$ *	$4.83 \times 10^{-07}$
Listed X, $\gamma$ , and $\gamma^\pm$ Radiations			1.02
Listed $\beta$ , ce, and Auger Radiations			$4.91 \times 10^{-01}$
Listed Radiations			1.51
* Average Energy (MeV).			
Carbon-13 Daughter is stable.			

**Figuur 1:** ENSDF Decay Data in the MIRD (Medical Internal Radiation Dose) Format for  $^{13}\text{N}$ .



### Vraagstuk 3      jodium-131 in een B-laboratorium

Een medewerker van een B-laboratorium ontdekt – na in totaal 120 minuten aanwezig te zijn geweest in het lab zonder adembescherming – een onbeheerd bekertje op tafel gevuld met vloeistof en gemerkt met het radioactiviteitssymbool. Hij herkent het als een onderdeel van het experiment van een collega. Deze collega werkt met het jodiumisotoop  $^{131}\text{I}$ .

#### Gegevens:

- Afmetingen B-lab:  $15\text{ m} \times 10\text{ m} \times 3\text{ m}$ .
- Maximale activiteit, aanwezig in het bekertje:  $A = 1\text{ GBq}$ .
- Ademvolumetempo referentiemens lichte werkzaamheden:  $1,2\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ .
- **Bijlage 1:** Gegevens  $^{131}\text{I}$  uit: A.S. Keverling Buisman, *Handboek Radionucliden, BetaText, tweede druk, 2007*.
- De emissiewaarschijnlijkheid voor gammafotonen uitgezonden door  $^{131}\text{I}$  mag op 1 worden gesteld.
- Het ventilatievoud in het laboratorium is  $8\text{ h}^{-1}$ .

#### Vraag 1

Ga na of handelingen, en zo ja welke handelingen, op een tafel met de genoemde maximale activiteit geoorloofd zijn in dit laboratorium, volgens de *Richtlijn Radionuclidenlaboratoria*. Neem aan dat zich in het bekertje een NaI-oplossing in water bevindt.

#### Vraag 2

Bereken de effectieve volg dosis die de medewerker ontvangt ten gevolge van inwendige besmetting via inhalatie. Ga hierbij uit van het denkbeeldige geval, dat bij binnenkomst van de medewerker in het laboratorium de inhoud van het bekertje zojuist en momentaan geheel was verdampt en dat het radioactieve  $^{131}\text{I}$  als jodiumdamp ( $\text{I}_2$ ) vrijkwam.

Verder is gegeven dat:

$$\int_0^T e^{-\lambda_v t} dt = \frac{-1}{\lambda_v} \left[ e^{-\lambda_v t} \right]_0^T = \frac{1}{\lambda_v} (1 - e^{-\lambda_v T})$$

De stralingsdeskundige besluit 6 uur na de als eenmalig te beschouwen intake een schildkliertelling uit te voeren bij de medewerker, die het onbeheerde bekertje heeft aangetroffen.

#### Vraag 3

Bepaal de activiteit, die zich op het moment van meten in de schildklier bevindt, bij een gegeven effectieve volg dosis van  $10\ \mu\text{Sv}$ .

De schildkliertelling wordt uitgevoerd met een Ge-detector met een efficiency van 0,23 cps/opgevallen foton in het energiegebied van de fotonen van  $^{131}\text{I}$ . De diameter van het detectoroppervlak waar de straling op valt, bedraagt 49,7 mm. De schildkliertelling wordt uitgevoerd op 50 cm afstand van de schildklier, waarin het  $^{131}\text{I}$ -isotoop zich heeft verzameld. Tijdens eerdere metingen met de Ge-detector blijkt de achtergrond gelijk te zijn aan 7 counts gemeten in 600 seconden.

#### Vraag 4a

Bepaal de totale detectie-efficiency in cps/dps.

De stralingsdeskundige wil een zodanige schildkliermeting doen, dat hij met een betrouwbaarheidsinterval van twee standaarddeviaties van het achtergrondteltempo zeker weet, dat de minimaal detecteerbare activiteit (MDA) overeenkomt met een effectieve volg dosis van  $10 \mu\text{Sv}$ .

Gegeven:

$$A_{\min} = \frac{k}{\varepsilon} \sqrt{\frac{R_a}{t}}$$

$k$  = betrouwbaarheidsinterval

$\varepsilon$  = totale detectie-efficiency

$R_a$  = achtergrondteltempo

$t$  = meettijd

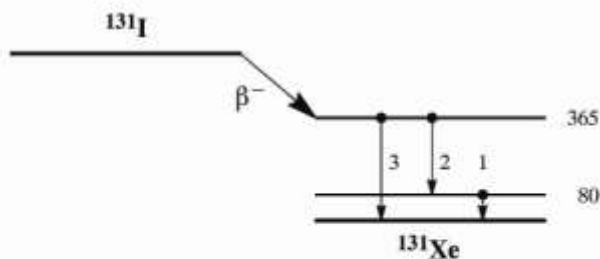
#### Vraag 4b

Bepaal de minimale meettijd (in minuten), zodat de effectieve volg dosis van  $10 \mu\text{Sv}$  binnen een betrouwbaarheidsinterval van twee standaarddeviaties van het achtergrondteltempo kan worden vastgesteld.

**$^{131}\text{I}$**  **$Z = 53$** **Halveringstijd en vervalconstante**

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

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

**Vervalschema (vereenvoudigd)****Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
$\beta^-$	0,894	192   606
$\gamma_1$	0,026	80
cc K $\gamma_1$	0,036	46
$\gamma_2$	0,061	284
$\gamma_3$	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  $^{131}\text{I}$  is een belangrijk splijttingsproduct. Het wordt veelvuldig toegepast in de diagnostische en therapeutische nucleaire geneeskunde.

164

**Bijlage 1: Gegevens  $^{131}\text{I}$  uit: A.S. Keverling Buisman, Handboek Radionucliden, BetaText, tweede druk, 2007.**

1  
2  
3  
4

N = 78

**<sup>131</sup>I****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<sub>2</sub>)  $f_1 = 1$  Klasse SR-1

Damp (CH<sub>3</sub>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 <sub>2</sub>	Inhalatie CH <sub>3</sub> 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 <sub>2</sub>	CH <sub>3</sub> 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	$1,6 \times 10^{-1}$	$7,5 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$

165

**Bijlage 1: Gegevens <sup>131</sup>I uit: A.S. Keverling Buisman, Handboek Radionucliden, BetaText, tweede druk, 2007.**

1  
2 **Vraagstuk 4            Besmetting van levensmiddelen**

3  
4 Naar aanleiding van de ramp met de kerncentrale in Tsjernobyl zijn internationaal richtlijnen  
5 opgesteld die inwendige besmetting als gevolg van *fall-out* van radioactieve stoffen moeten  
6 beperken. In Europa heeft dit geleid tot de publicatie van Euratom verordening 3954/87 tot  
7 vaststelling van de maximaal toelaatbare niveaus van radioactieve besmetting van  
8 levensmiddelen en diervoeders ten gevolge van een nucleair ongeval of ander stralingsgevaar.  
9 De hoogte van de niveaus voor levensmiddelen (in Bq/kg) werden twee jaar later vastgesteld in  
10 verordening 2218/89, toegevoegd als **Bijlage 1**.

11  
12 Bij een nucleair incident komt (onder andere) een grote hoeveelheid Cs-137 verspreid over een  
13 groot gebied aan landbouwgrond terecht. Doordat koeien het besmette gras eten, komt er  
14 eveneens een hoeveelheid Cs-137 in de melk terecht. Aangezien het door Euratom vastgestelde  
15 maximaal toelaatbare niveau volgens metingen niet wordt overschreden, wordt de verkoop van  
16 de melk niet verboden.

17  
18 **Gegevens:**

- 19     ▪ **Bijlage 1:** *Toegestane besmettingsniveau 's voor levensmiddelen (Bq/kg) volgens Euratom*  
20     *verordening 2218/89.*
- 21     ▪ **Bijlage 2:** *Gegevens <sup>137</sup>Cs uit: A.S. Keverling Buisman, Handboek Radionucliden,*  
22     *BetaText, tweede druk, 2007.*
- 23     ▪ In dit vraagstuk mag ervan worden uitgegaan dat de enige bron van Cs-137-besmetting  
24     melk is.
- 25     ▪ Een gemiddelde, volwassen man drinkt dagelijks 0,8 L melk.
- 26     ▪ De dichtheid van melk is bij benadering 1 kg/L.

27  
28 **Vraag 1**

29 Stel dat de besmette melk precies de maximaal toelaatbare activiteit aan Cs-137 zou bevatten,  
30 hoeveel liter melk zou een gemiddeld, volwassen lid van de bevolking dan moeten drinken om  
31 aan de voor hem geldende wettelijke effectieve jaardosislimiet te komen?

32  
33 Ga voor vraag 2 en 3 alleen uit van de 90% van het cesium dat langzaam door het lichaam  
34 wordt uitgescheiden.

35  
36 **Vraag 2**

37 Bepaal de effectieve halveringstijd van Cs-137 in het lichaam.

1 Men mag aannemen dat de besmetting van het gras en dus ook van de melk gedurende de eerste  
2 maanden na het incident niet significant afneemt. Twee maanden (60 dagen) na het incident  
3 besluit de overheid een bevolkingsonderzoek te houden naar de inwendige besmetting met Cs-  
4 137 als gevolg van het incident. Daartoe wordt een gemiddelde, volwassen man onderzocht in  
5 een *total body counter*. Hij blijkt op dat moment 9,0 kBq aan Cs-137 in zijn lichaam te hebben.  
6

7 **Vraag 3**

8 Wat was het opnametempo in Bq per dag dat tot deze activiteit in het lichaam heeft geleid? Ga  
9 hierbij uit van een model van continue toevoer.

10  
11 **Vraag 4**

12 Bereken de werkelijke massieke activiteit in Bq/kg van de besmette melk.

13  
14 De onderzochte man besluit na dit nieuws voorlopig geen melk of andere mogelijk besmette  
15 producten meer te consumeren.

16  
17 **Vraag 5**

18 Wat is de effectieve volgdosis die hij als gevolg van de 60 dagen consumptie van de besmette  
19 melk heeft ontvangen?  
20

↓ 2218/89 art. 1 en bijlage  
(aangepast)

**BIJLAGE I**

**MAXIMAAL TOELAATBARE NIVEAUS VOOR LEVENSMIDDELEN (in Bq/kg)**

	Levensmiddelen <sup>1</sup>			
	Babyvoeding <sup>2</sup>	Zuivelproducten <sup>3</sup>	Andere levensmiddelen, met uitzondering van minder belangrijke <sup>4</sup>	Vloeibare levensmiddelen <sup>5</sup>
Strontium-isotopen, met name Sr-90	75	125	750	125
Jodiumisotopen, met name I-131	150	500	2000	500
Alfa-emitterende isotopen van plutonium en transplutoniumelementen, met name Pu-239 en Am-241	1	20	80	20
Alle andere nucliden met een halveringstijd van meer dan 10 dagen, met name Cs-134 en Cs-137 <sup>6</sup>	400	1000	1250	1000

<sup>1</sup> Het niveau voor geconcentreerde of gedroogde producten moet worden berekend op basis van het gereconstitueerde gebruiksklare product. De lidstaten kunnen aanbevelingen doen voor de wijze waarop door aanlenging kan worden gewaarborgd dat de bij deze verordening vastgestelde maximaal toelaatbare niveaus in acht worden genomen.

<sup>2</sup> Als babyvoeding worden aangemerkt de levensmiddelen die speciaal bestemd zijn voor voeding van zuigelingen in de eerste vier tot zes maanden van hun leven, die op zichzelf voldoen aan de voedingsbehoeften van deze categorie personen en in de detailhandel verkrijgbaar zijn in gemakkelijk herkenbare verpakkingen voorzien van het etiket «babyvoeding».

<sup>3</sup> Als zuivelproducten worden aangemerkt de producten die vallen onder de volgende GN-codes, en, in voorkomend geval, in de aanpassingen die later hierin kunnen worden aangebracht: 0401, 0402 (behalve 0402 29 11).

<sup>4</sup> Minder belangrijke levensmiddelen en de daarop toe te passen overeenkomstige niveaus worden bepaald overeenkomstig artikel 9.

<sup>5</sup> Vloeibare levensmiddelen als gedefinieerd in GN-code 2009 en in hoofdstuk 22 van de gecombineerde nomenclatuur. De waarden worden berekend met inachtneming van het verbruik van kraanwater en dezelfde waarden zouden naar goeddunken van de bevoegde autoriteiten in de lidstaten moeten worden toegepast voor de drinkwatervoorziening.

<sup>6</sup> Koolstof-14, tritium en kalium worden niet hiertoe gerekend.

NL

11

NL

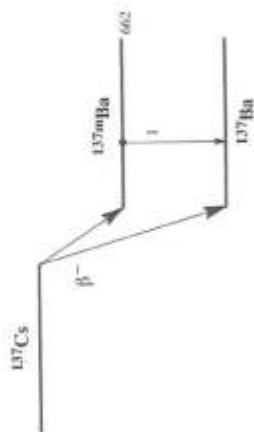
- 1  
2 **Bijlage 1: Niveaus voor levensmiddelen (Bq/kg) zoals vastgesteld in Euratom-verordening**  
3 **2218/89.**

**Halveringstijd en vervalconstante**

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

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

**Verval-schema (verenvoofdigd)**



**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$\gamma$ (Bq s) <sup>-1</sup>	E (keV)	Straling	$y$ (Bq s) <sup>-1</sup>	E (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)

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

**Diversen**

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

**Productie en toepassingen**

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

**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	$f_1 = 1$	Inhalatie	Klasse F
Alle verbindingen			
Inhalatie			
Alle verbindingen			

**Dosisconversiecoëfficiënt en radiotoxiciëteitsequivalent voor verkeners (v) en voor leden van de bevolking (b)**

	Ingestie	Inhalatie	
$e(50)(w)$	$1,3 \times 10^{-8}$	F	Sv/Bq
$A_{re}(w)$	$7,7 \times 10^7$		Bq
$e(50)(b)$	$1,3 \times 10^{-8}$		Sv/Bq
$A_{re}(b)$	$7,7 \times 10^7$		Bq

**Gegevens voor totale-lichaamstelling**

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

1 **Bijlage 2:** Gegevens voor <sup>137</sup>Cs uit: A.S. Keverling Buisman, Handboek Radionucliden, BetaText, tweede druk, 2007.  
 2  
 3