

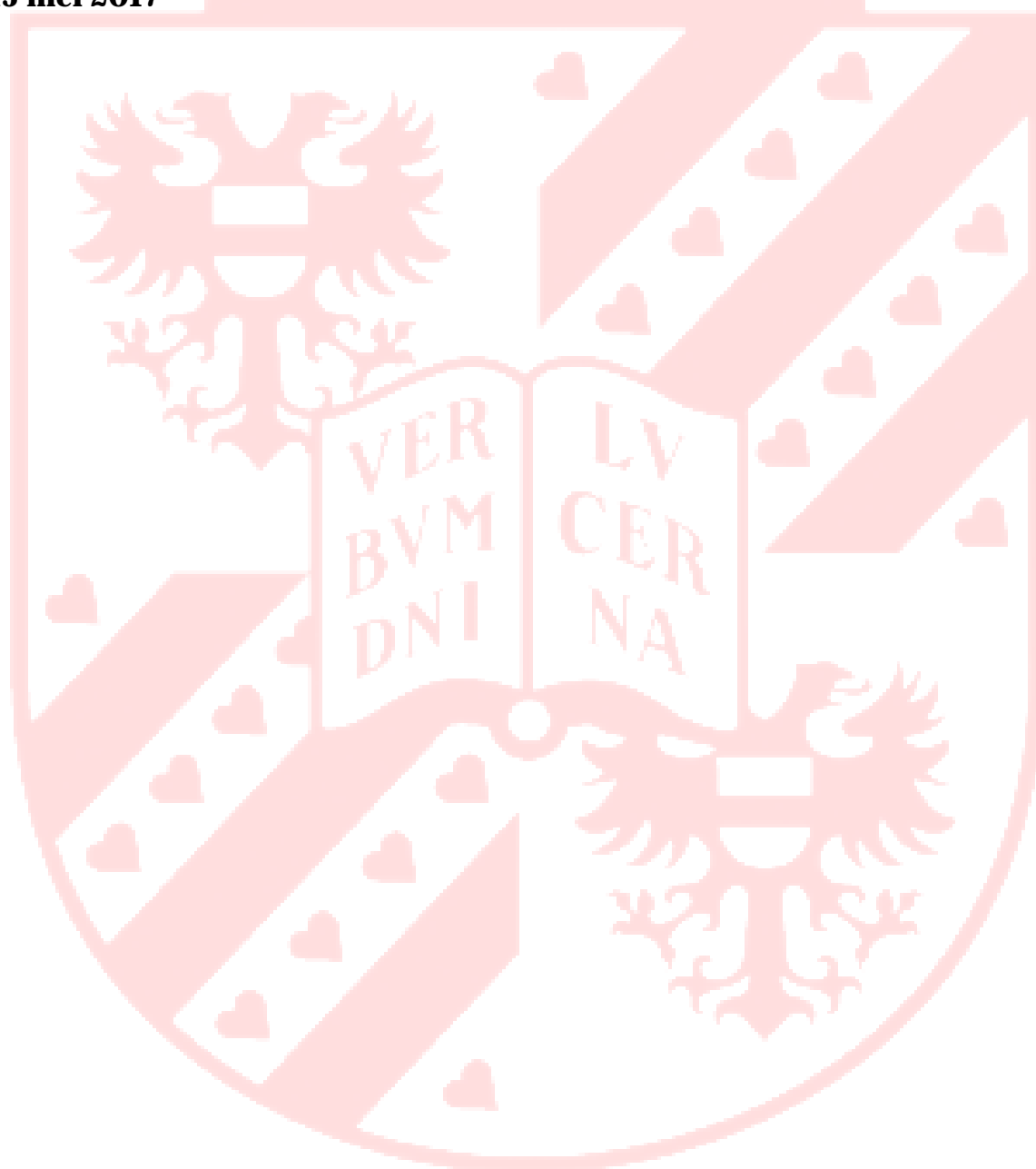
**Vraagstuk bij de  
Nascholingsmiddag Stralingsdeskundigen 2017**

**Rijksuniversiteit Groningen  
Groningen Academy for Radiation Protection**

**30 november 2017**

---

**Vraagstuk is ontleend aan:  
examen deskundigheidsniveau coördinerend deskundige  
15 mei 2017**



## Vraagstuk Lecture bottle

Een 'lecture bottle' is een miniatuurgascilinder. In het radionuclidenlaboratorium van een universiteit gaat een docent in één van de zuurkasten een stalen lecture bottle gebruiken, die gevuld is met  $^{14}\text{C}$ -gelabeld kooldioxide. De verantwoordelijk stralingsdeskundige voert vooraf een risicoanalyse uit. Hij veronderstelt daarbij aanvankelijk dat de remstraling, die ontstaat als de  $\beta$ -deeltjes afkomstig van het verval van  $^{14}\text{C}$  in de wand van de gasfles worden gestopt, verwaarloosbaar is. Na de komst van de lecture bottle voert hij zekerheidshalve toch een meting uit. Op de buitenkant van de gasfles wordt een omgevingsdosisequivalent-tempo  $\dot{H}^*(10) = 0,17 \mu\text{Sv h}^{-1}$  gemeten bij een achtergrond van  $0,06 \mu\text{Sv h}^{-1}$ . Hij wil door een berekening verifiëren of deze meetwaarde verwacht had kunnen worden.

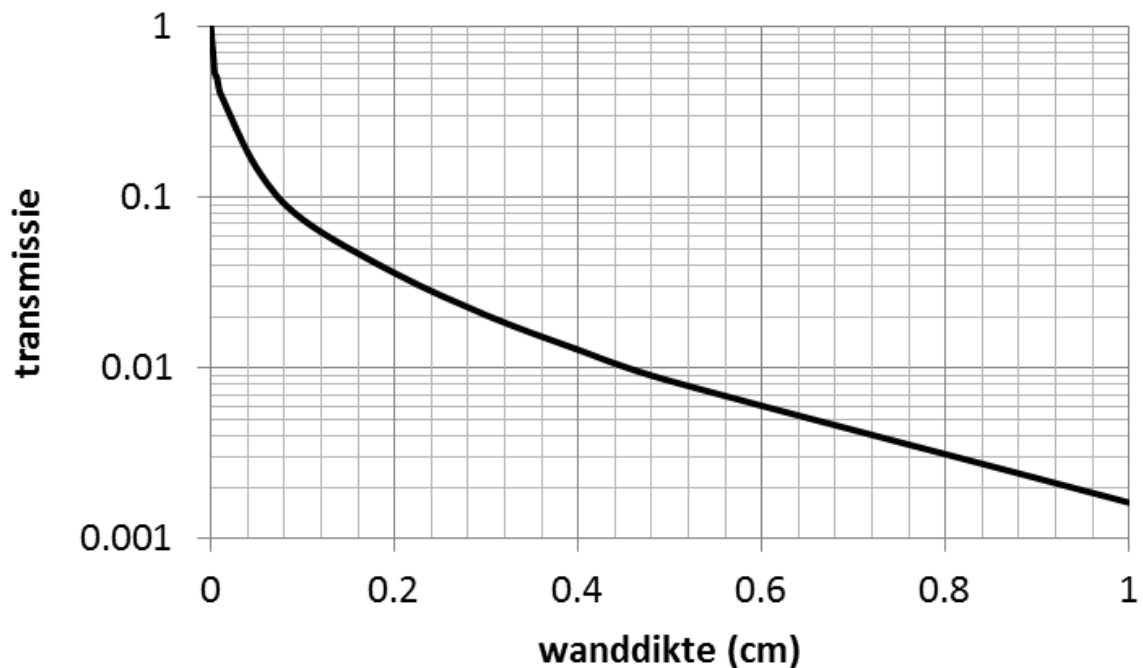


**Figuur 1.** Lecture bottle

### Gegevens:

- Volgens het etiket bevat de lecture bottle een activiteit van  $480 \text{ MBq } ^{14}\text{C}$ .
- De lecture bottle heeft een lengte van 18 cm, een buitendiameter van 3,2 cm en een wanddikte van 3,0 mm.
- De oppervlakte van de zijwand van een cilinder is  $O = 2\pi \times r \times l$ , waarbij  $r$  de afstand van de as tot de buitenkant van de cilinder is, en  $l$  de lengte van de cilinder.
- Voor staal mogen in deze opgave de eigenschappen van ijzer gebruikt worden.
- De dichtheid van ijzer is  $\rho_{\text{ijzer}} = 7,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .

- Het atoomnummer van ijzer is  $Z = 26$ .
- De fractie van de  $\beta$ -energie die wordt omgezet in remstraling is bij benadering gelijk aan  $g = 2 \cdot 10^{-4} Z E_{\beta, \max}$ .
- **Bijlage, blz. 5-6:** Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (2<sup>e</sup> druk, 2007) blz. 24-25: gegevens  $^{14}\text{C}$ .
- **Bijlage, blz. 7:** Interactiecoëfficiënten voor fotonen in ijzer (ontleend aan Inleiding tot de Stralingshygiëne, A.J.J. Bos et al, 2<sup>e</sup> druk, 2007, p.384).
- De dosisopbouwfactor mag in dit vraagstuk gelijk worden gesteld aan  $B = 1$ .
- **Bijlage, blz. 7:** Dosisconversiecoëfficiënten voor externe blootstelling aan fotonen (ontleend aan Inleiding tot de stralingshygiëne, A.J.J. Bos et al, 2<sup>e</sup> druk, 2007, p. 386).
- **Figuur 2:** Transmissie door ijzer van remstraling opgewekt door  $\beta$ -deeltjes van  $^{14}\text{C}$ ; Radioisotopes 57 (2008) 605-616.



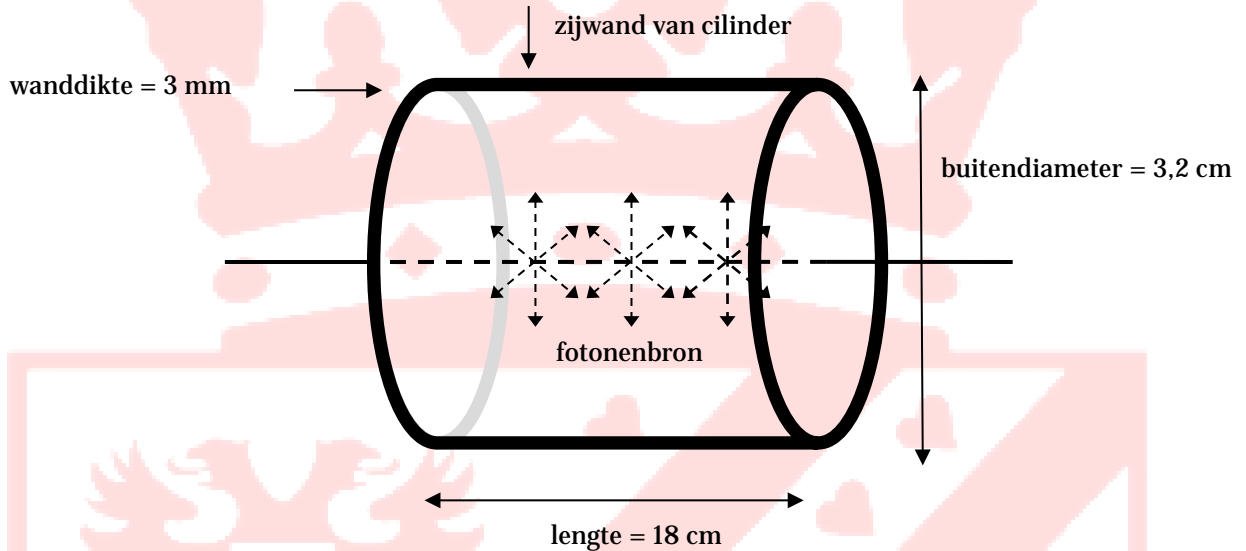
**Figuur 2.** Transmissie door ijzer van remstraling opgewekt door  $\beta$ -deeltjes van  $^{14}\text{C}$ ; Radioisotopes 57 (2008) 605-616.

### Vraag 1

Toon aan dat alle  $\beta$ -deeltjes afkomstig van het verval van  $^{14}\text{C}$  in de wand van de gasflës worden gestopt.

Om het vraagstuk hanteerbaar te maken, gaat de deskundige rekenen met een benadering dat er geen  $^{14}\text{C}$  in de cilinder zit, maar een mono-energetische fotonenbron, met een energie gelijk aan de effectieve

fotonenergie  $E_{\text{foton}}$ . Deze fotonenbron bevindt zich op de as in het midden van de cilinder en is homogeen verdeeld over die as; zie figuur 3.



**Figuur 3.** Schets van een segment van de gasfles. De as in het centrum van de cilinder wordt beschouwd als bron van fotonen.

### Vraag 2<sup>1</sup>

Met behulp van de gegevens hierboven en de gegevens in de bijlage kunt u het omgevingsdosisequivalenttempo  $\dot{H}^*(10)$  (in  $\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$ ) op de buitenkant van de gasfles schatten. U dient hiervoor een aantal modelaannames te maken en berekeningen uit te voeren. U wordt gevraagd deze aannames te maken en de berekeningen, leidend tot de schatting van het omgevingsdosisequivalenttempo uit te voeren.

---

1 Indien u over deze vraag heeft nagedacht maar geen enkel aanknopingspunt heeft, kunt u de oorspronkelijke examenopgave ontvangen door na 26 november 2017 een email te sturen aan [h.f.boersma@rug.nl](mailto:h.f.boersma@rug.nl) en/of [f.pleiter@rug.nl](mailto:f.pleiter@rug.nl). Hierin worden aannames gedaan en deelberekeningen gevraagd.

**$^{14}\text{C}$**

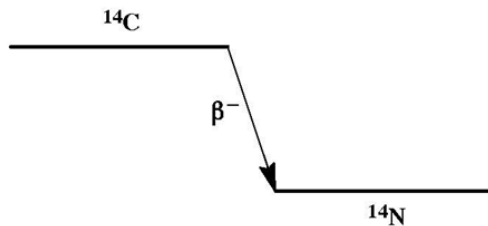
**$Z = 6$**

**Halveringstijd en vervalconstante**

$T_{1/2} = 5730 \text{ j} = 1,81 \times 10^{11} \text{ s}$

$\lambda = 3,83 \times 10^{-12} \text{ s}^{-1}$

**Vervalschema (vereenvoudigd)**



**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
$\beta^-$	1,000	49   156

**Diversen**

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 1,65 \times 10^{11} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^8 \text{ Bq/g (CO)}$ $= 10^7 \text{ Bq/g (CO}_2)$ $= 10^4 \text{ Bq/g (overige)}$
	$A_v = 10^{11} \text{ Bq (CO, CO}_2)$ $= 10^7 \text{ Bq (overige)}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 5 \times 10^{-11} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 5,8 \times 10^{10} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 40 \text{ TBq}$ $A_2 = 3 \text{ TBq}$

**Productie en toepassingen**

Het radionuclide  $^{14}\text{C}$  wordt gevormd in de buitenste lagen van de atmosfeer, voornamelijk door de (exotherme) reactie  $^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ . De concentratie van  $^{14}\text{CO}_2$  in de biosfeer is hierdoor ongeveer 220 Bq/kg C. De stofwisseling van planten ( $\text{CO}_2$  in en  $\text{O}_2$  uit) maakt dat plantaardige stoffen dezelfde  $^{14}\text{C}$ -concentratie bevatten als in de atmosfeer. Na de dood van de plant neemt de  $^{14}\text{C}$ -concentratie af met de halveringstijd van 5730 jaar. Door meting van deze concentratie kan dus de ouderdom van plantaardige stoffen worden bepaald: de koolstofdateringsmethode. Door het verbranden van (zeer oude) fossiele brandstoffen neemt de  $^{14}\text{C}$ -concentratie de laatste jaren geleidelijk af. De mens bevat enig  $^{14}\text{C}$ : de referentiemens is opgebouwd uit 16 kg koolstof en bevat

N = 8

<sup>14</sup>C

zodoende 3500 Bq <sup>14</sup>C. Door bovengrondse kernproeven is sinds 1945 ongeveer 0,2 EBq in de atmosfeer terechtgekomen. Het radionuclide wordt verder gebruikt als merker van biologische verbindingen en als zeer stabiele lichtbron.

### Metabool model

Voor stralingshygiënische doeleinden wordt aangenomen dat koolstof zich na ingestie en inhalatie momentaan en homogeen over het lichaam verdeelt. Er gelden verschillende biologische halveringstijden zoals aangegeven in onderstaande tabel.

### Ingestie- en longzuiveringsklassen

Ingestie	$f_1$	Biologische $T_{1/2}$
Alle verbindingen	$f_1 = 1$	40 d
Inhalatie		
Organische aerosolen	M	40 d
Organische dampen	SR-2	40 d
CO	SR-1, 40% dep.	200 min
CO <sub>2</sub>	SR-2	5 d (18%), 60 d (81%), 40 d (1%)

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

	Ingestie $f_1 = 1$	Inhalatie M	Inhalatie Damp	Inhalatie CO	Inhalatie CO <sub>2</sub>	
$e(50)$	$5,8 \times 10^{-10}$	$2,0 \times 10^{-9}$	$5,8 \times 10^{-10}$	$8,0 \times 10^{-13}$	$6,2 \times 10^{-12}$	Sv/Bq
$A_{Re}$	$1,7 \times 10^9$	$5,0 \times 10^8$	$1,7 \times 10^9$	$1,3 \times 10^{12}$	$1,6 \times 10^{11}$	Bq

### Gegevens voor urine-analyse

Na eenmalige inname

Tijd (d)	Urine-uitscheidingstempo (Bq/d per Bq inname) met $F_u = 0,017$				
1	$1,2 \times 10^{-4}$	$9,3 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-2}$	$3,7 \times 10^{-4}$
2	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$3,2 \times 10^{-4}$
3	$2,8 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$2,8 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-7}$	$2,9 \times 10^{-4}$
5	$2,7 \times 10^{-4}$	$1,9 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-4}$	–	$2,0 \times 10^{-4}$
7	$2,6 \times 10^{-4}$	$1,8 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-4}$	–	$1,5 \times 10^{-4}$

**Interactiecoëfficiënten voor fotonen in ijzer**

Inleiding tot de stralingshygiëne (Bos et al., 2<sup>e</sup> druk, 2007) blz. 384

Fotonenergie (MeV)	$\mu/\rho$ (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )	$\mu_{en}/\rho$ (cm <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> )
0,02	25,7	22,1
0,03	8,18	7,2
0,04	3,63	3,18
0,05	1,96	1,63
0,06	1,20	0,944
0,08	0,595	0,411
0,10	0,372	0,219
0,15	0,196	0,080

**Dosisconversiecoëfficiënten voor externe blootstelling aan fotonen**

Inleiding tot de stralingshygiëne (Bos et al., 2<sup>e</sup> druk, 2007) blz. 386

Fotonenergie (MeV)	$K_a/\Phi$ (pGy cm <sup>2</sup> )	$H^*(10)/\Phi$ (pSv cm <sup>2</sup> )
0,02	1,73	1,05
0,03	0,739	0,81
0,04	0,438	0,64
0,05	0,328	0,55
0,06	0,292	0,51
0,08	0,308	0,53
0,10	0,372	0,61
0,15	0,600	0,89