

Tales of the unexpected

^{14}C als fotonenbron

(examen 15 mei 2017)

Frits Pleiter

Rijksuniversiteit Groningen / [GARP](#)



Waar gaat het over ?

Een "lecture bottle" gevuld met kooldioxide dat gelabeld is met het radionuclide ^{14}C .
De toezichthouder maakt een risicoanalyse.



Vraag 1

- Toon aan dat alle β -deeltjes afkomstig van het verval van ^{14}C in de wand van de gasfles worden gestopt.



Gegevens 1

- $E_{\beta,\max} = 156 \text{ keV}$
- $\rho_{\text{ijzer}} = 7,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$
- wanddikte gasfles = 3 mm



Antwoord 1

De massieke dracht volgt uit een grafiek of uit de volgende eenvoudige vuistregel:

$$R_{\beta,\max} (\text{cm}) \times \rho (\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}) = 0,5 E_{\beta,\max} (\text{MeV})$$

Invullen geeft de lineïeke dracht:

$$\begin{aligned} R_{\beta,\max} &= 0,5 \times 0,156 \text{ MeV} / 7,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3} \\ &= 0,010 \text{ cm} \ll \text{wanddikte gasfles} \end{aligned}$$

→ alle β -deeltjes worden gestopt in de wand



Vraag 2

- Maak een schatting van $\dot{H}^*(10)$ ($\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$) op de buitenkant, halverwege de gasfles.

Maak zelf de nodige model-aannames om deze berekening te kunnen uitvoeren.



Welk model zou u kiezen ?

Mogelijke antwoorden:

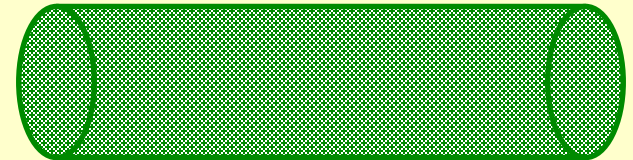
[a] puntbron



[b] lijnbron



[c] volumebron



Welk model ?



Welke gegevens hebt u nodig ?

Welke gegevens denkt u nodig te hebben ?



Gegevens 2

- activiteit $A = 480 \text{ MBq}$
- lengte gasfles $l = 18 \text{ cm}$
- diameter gasfles $2r = 3,2 \text{ cm}$
- wanddikte gasfles $d = 3 \text{ mm}$
- oppervlakte zijwand $O = 2\pi \times r \times l$
- fractie $E_\beta \rightarrow E_{\text{rem}}$ $g = 2 \cdot 10^{-4} Z E_{\beta, \text{max}}$
- Z_{ijzer} 26
- $E_{\beta, \text{max}}$ 156 keV
- buildup-factor $B = 1$
- transmissie van remstraling door ijzer
- interactiecoëfficiënten voor fotonen in ijzer
- dosisconversiecoëfficiënten $H^*(10) / \Phi$



Plan van aanpak

Ga er vanuit dat er niet ^{14}C in de cilinder zit, maar een mono-energetische fotonenbron, met een effectieve fotonenergie E_{foton} .

Ga er verder vanuit dat deze fotonenbron homogeen verdeeld is over de denkbeeldige as in het midden van de gascilinder.

Bereken (1) de fotonenergie, (2) het aantal fotonen en (3) het omgevingsdosisequivalent.



Hoe groot denkt u dat E_{foton} is ?

Mogelijke antwoorden:

[a] $E_{\beta, \text{max}}$

[b] $E_{\beta, \text{max}} / 2$

[c] $E_{\beta, \text{max}} / 3$

Hoe groot is E_{foton} ?



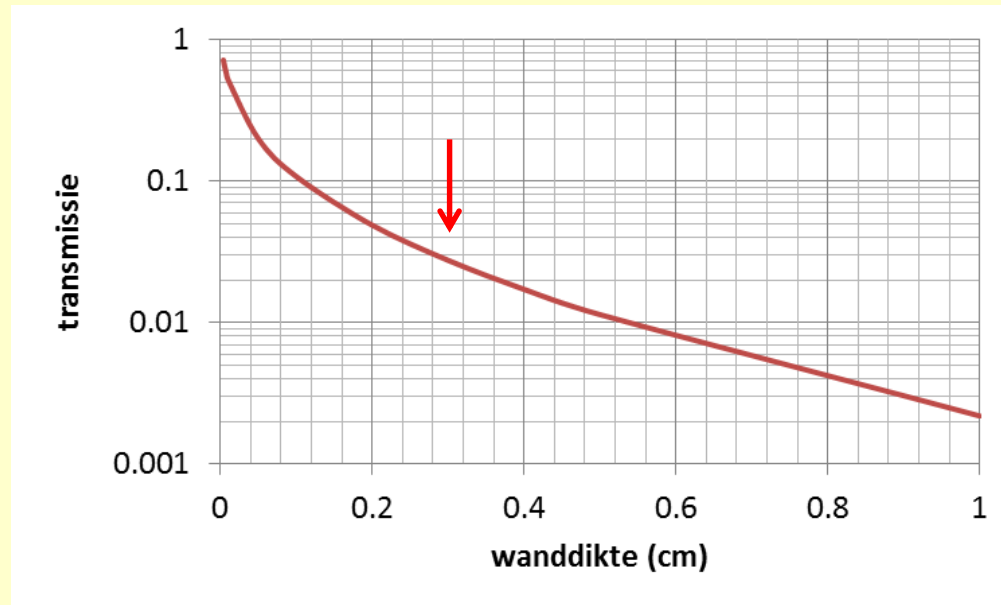
Antwoord 2, stap 1: bereken E_{foton}

De werkmethode is als volgt:

1. lees T af in figuur bij $d = 3 \text{ mm}$
2. bereken μ met behulp van $T = B e^{-\mu d}$
3. lees E_{foton} af in tabel van μ / ρ



Lees transmissiekromme af



$$T = 0,028$$

transmissie door ijzer van de remstraling opgewekt door β -deeltjes van ^{14}C .



Bereken μ / ρ

$$T = B e^{-\mu d}$$

invullen van $T = 0,028$ en $B = 1$

$$\rightarrow 0,028 = 1 \times e^{-\mu d}$$

$$\mu d = -\ln(0,028) = 3,58$$

invullen van $d = 0,3 \text{ cm}$ en $\rho = 7,9 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

$$\rightarrow \mu / \rho = 3,58 / (0,3 \times 7,9) = 1,5 \text{ cm}^2\cdot\text{g}^{-1}$$



Interpoleer fotonenergie

E_{foton} (MeV)	μ / ρ ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	μ_{en} / ρ ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)
0,05	1,96	1,63
0,06	1,20	0,94
0,08	0,60	0,41
0,10	0,37	0,22

lineair interpoleren $\rightarrow E_{\text{foton}} = 0,056 \text{ MeV}$
dat is binnen 10% gelijk aan $\langle E_{\beta} \rangle \approx E_{\beta, \text{max}} / 3$



Antwoord 2, stap 2: bereken flux

De werkmethode is als volgt:

1. bereken de remstralingsenergie E_{rem} per desintegratie
2. bereken het aantal remstralingsfotonen N_{rem} per desintegratie
3. bereken de totale flux



Bereken E_{rem} per desintegratie

$$g = 2 \cdot 10^{-4} Z E_{\beta, \text{max}}$$

invullen van $Z = 26$ en $E_{\beta, \text{max}} = 0,156 \text{ MeV}$

$$\rightarrow g = 2 \cdot 10^{-4} \times 26 \times 0,156 = 8,1 \cdot 10^{-4}$$

$$E_{\text{rem}} = g \times \langle E_{\beta} \rangle$$

invullen van g en $\langle E_{\beta} \rangle = 0,049 \text{ MeV}$

$$\rightarrow E_{\text{rem}} = 8,1 \cdot 10^{-4} \times 0,049 = 40 \cdot 10^{-6} \text{ MeV}$$



Bereken N_{rem} per desintegratie

$$N_{\text{rem}} = E_{\text{rem}} / E_{\text{foton}}$$

invullen van $E_{\text{rem}} = 40 \cdot 10^{-6}$ MeV en
 $E_{\text{foton}} = 0,056$ MeV geeft

$$\rightarrow N_{\text{rem}} = 40 \cdot 10^{-6} / 0,056 = 7,1 \cdot 10^{-4}$$

dat is binnen 15% gelijk aan g



Bereken totale flux

$$\text{flux} = A \times N_{\text{rem}}$$

invullen van $A = 480 \text{ MBq}$ en $N_{\text{rem}} = 7,1 \cdot 10^{-4}$

$$\rightarrow \text{flux} = 480 \cdot 10^6 \times 7,1 \cdot 10^{-4} = 34 \cdot 10^4 \text{ s}^{-1}$$



Antwoord 2, stap 3: bereken $\dot{H}^*(10)$

De werkmethode is als volgt:

1. bereken fluxdichtheid = fluentietempo φ aan de buitenkant van de gasfles
2. lees $H^*(10) / \Phi$ af in tabel
3. bereken $\dot{H}^*(10)$



Bereken fluentietempo ϕ

$$\phi = \text{flux} \times \text{transmissie} / \text{oppervlak}$$

$$\text{transmissie} \quad T = 0,028$$

$$\text{oppervlak} \quad O = 2\pi \times r \times l$$

$$= 2\pi \times 1,6 \times 18 = 181 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow \phi = 34 \cdot 10^4 \times 0,028 / 181 = 53 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$$



Interpoleer $H^*(10) / \Phi$

E_{foton} (MeV)	K_{lucht} / Φ (pGy·cm ²)	$H^*(10) / \Phi$ (pSv·cm ²)
0,05	0,33	0,55
0,06	0,29	0,51
0,08	0,31	0,53
0,10	0,37	0,61
0,15	0,60	0,89

lineair interpoleren → $H^*(10) / \Phi = 0,53 \text{ pSv}\cdot\text{cm}^2$



Bereken $\dot{H}^*(10)$

$$\dot{H}^*(10) = \varphi \times H^*(10) / \Phi$$

invullen van $\varphi = 53 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ en $H^*(10) / \Phi = 0,53 \text{ pSv} \cdot \text{cm}^2$

$$\begin{aligned} \rightarrow \dot{H}^*(10) &= 53 \times 0,53 \times 3600 \text{ s h}^{-1} \\ &= 1,0 \cdot 10^5 \text{ pSv} \cdot \text{h}^{-1} = \mathbf{0,10 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}} \end{aligned}$$



De werkelijkheid

Na aflevering van de lecture bottle meet de stralingsdeskundige $\dot{H}^*(10)$ op de buitenkant van de gasfles, met als resultaat:

bruto $0,17 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

achtergrond $0,06 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

→ netto = $0,17 - 0,06 = 0,11 \mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1}$

Dat is binnen 10% gelijk aan de waarde die in de risico-analyse is berekend.



Toegift: puntbronbenadering

Noem r de afstand tussen bron en meetpunt.

Welke waarde van r zou u kiezen ?



Plan van aanpak

De werkmethode is als volgt:

1. kneed de gascilinder tot een bol met hetzelfde volume
2. plaats de bron in het middelpunt van de bol
3. kies het meetpunt op de wand van de bol
4. pas de kwadratenwet toe



En werkt het ook echt ?

$$\dot{H}^*(10) = h A T / r^2 \quad \text{kwadratenwet}$$

$$h \approx E_{\text{rem}} / 7$$

$$= 40 \cdot 10^{-6} / 7 = 5,7 \cdot 10^{-6} \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \text{ per MBq op 1 m}$$

$$A = 480 \text{ MBq}$$

$$T = 0,028$$

$$\pi \times (1,6 \text{ cm})^2 \times 18 \text{ cm} = (4\pi / 3) \times r^3$$

$$\rightarrow r = 3,3 \text{ cm}$$

$$\rightarrow \dot{H}^*(10) = 0,07 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

scheelt ongeveer 30% (en een hoop werk)

