

**Nascholingsmiddag  
Stralingsbescherming voor  
coördinerend  
stralingsbeschermingsdeskundigen**

**25 november 2021**

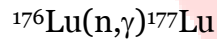
**Vraagstuk**

In dit document treft u een examenvraagstuk uit het examen voor coördinerend stralingsbeschermingsdeskundigen van 14 december 2020 aan. In dit vraagstuk staat (het rekenen aan) de productie en het vervoer van  $^{177}\text{Lu}$  centraal. U wordt geadviseerd eerst paragraaf 14.5.7 uit de CD-syllabus te lezen die als cursusmateriaal zijn bijgevoegd.

## Vraagstuk 'Lutetium-177'

[20 punten]

In de afgelopen jaren is er een sterke toename opgetreden in de toepassing van lutetium voor de behandeling van kanker. Het lutetium wordt geproduceerd in een kernreactor volgens de volgende reactie:



Een klant vraagt om levering van 500 GBq  $^{177}\text{Lu}$ . De klant levert hiervoor 2 mg lutetiumnitraat ( $\text{Lu}(\text{NO}_3)_3$ ) aan, met een verrijkingsgraad van 85%  $^{176}\text{Lu}$  (de natuurlijk abundantie van  $^{176}\text{Lu}$  is 2,59%). De tijd tussen productie en levering bedraagt 5 uur.

### Gegevens:

- **Bijlage, blz. 4:** Handboek Radionucliden, A.S. Keveling Buisman (3<sup>e</sup> druk 2015), blz. 204, gegevens  $^{177}\text{Lu}$ .
- Het atoomgewicht van het verrijkte lutetium is  $175,85 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- De molmassa van  $\text{NO}_3^{2-}$  is  $62,03 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ .
- Het getal van Avogadro is  $6,022\cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .
- De werkzame doorsnede voor thermische neutronen voor de reactie  $^{176}\text{Lu}(n,\gamma)^{177}\text{Lu}$  bedraagt  $\sigma = 2,1\cdot 10^3 \text{ barn}$ .
- Het fluentietempo in de reactor bedraagt  $5\cdot 10^{19} \text{ neutronen}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ .
- Activering wordt berekend volgens onderstaande formule:

$A_t = N \phi \sigma (1 - e^{-\lambda t})$ , waarin:

$A_t$	=	activiteit $^{177}\text{Lu}$ na bestralingstijd $t$ (in Bq)
$N$	=	aantal bestraalde atomen
$\Phi$	=	fluentietempo ( $\text{m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
$\sigma$	=	werkzame doorsnede ( $\text{m}^2$ )
$\lambda$	=	vervalsconstante $^{177}\text{Lu}$
$t$	=	bestralingstijd (s)

### Vraag 1 [3 punten]

Bereken het aantal atomen  $^{176}\text{Lu}$  in de geleverde 2 mg lutetiumnitraat.

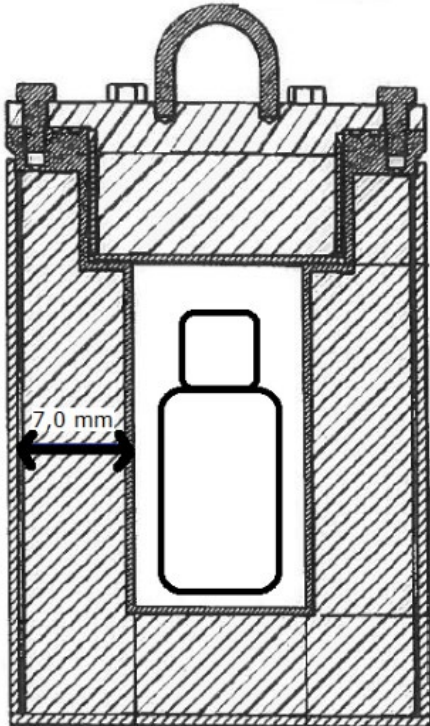
### Vraag 2 [5 punten]

Bereken wat de bestralingstijd (in uren) moet zijn om aan de vraag van de klant te voldoen.

Het transport vindt plaats in een Type A-collo. Dit collo bestaat uit een container met een afscherming van 7 mm lood verpakt in een kartonnen doos van 42 x 42 x 42 cm. De doos is opgevuld met piepschuim zodat de activiteit exact in het midden van het collo zit.

**Aanvullende gegevens:**

- Alleen afscherming door lood hoeft meegenomen te worden bij transmissieberekeningen.
- De dichtheid van lood:  $\rho_{\text{lood}} = 11,34 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ .
- De build-up door 7 mm lood van de fotonen van  $^{177}\text{Lu}$  mag gelijkgesteld worden aan 1,0.
- **Bijlage, blz. 5:** Massieke verzwakkingscoëfficiënt van lood.
- **Bijlage, blz. 6:** Conversiecoëfficiënten van luchtkerma naar omgevingsdosisequivalent als functie van fotonenergie.



**Figuur 1:** loodcontainer (niet op ware

grootte)

**Vraag 3a [6 punten]**

Bereken het maximale luchtkermatempo ( $\dot{K}$ ) op het oppervlak van het collo. Neem aan dat de  $\beta$ -straling volledig geabsorbeerd wordt door het lood en de gevormde remstraling hierbij verwaarloosbaar is.

**Vraag 3b [4 punten]**

Bepaal de transportindex van dit collo.

**Vraag 4 [2 punten]**

Welk etiket moet op het collo geplakt worden? Geef alle gegevens die hierop ingevuld moeten worden.

Handboek Radionucliden, A.S. Keeverling Buisman (3e druk 2015), gegevens  $^{177}\text{Lu}$

**$^{177}\text{Lu}$**

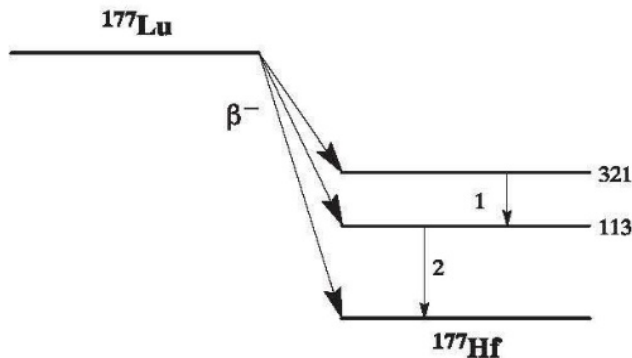
**$Z = 71$**

**Halveringstijd en vervalconstante**

$T_{1/2} = 6,71 \text{ d} = 5,80 \times 10^5 \text{ s}$

$\lambda = 1,20 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

**Vervalschema (vereenvoudigd)**



**Belangrijkste uitgezonden straling**

Straling	$y \text{ (Bq}\cdot\text{s)}^{-1}$	$E \text{ (keV)}$
$\beta^-$	0,122	47   176
$\beta^-$	0,091	111   384
$\beta^-$	0,786	149   497
$\gamma_1$	0,110	208
$\gamma_2$	0,064	113
$K_\alpha$	0,047	55

**Bronconstanten**

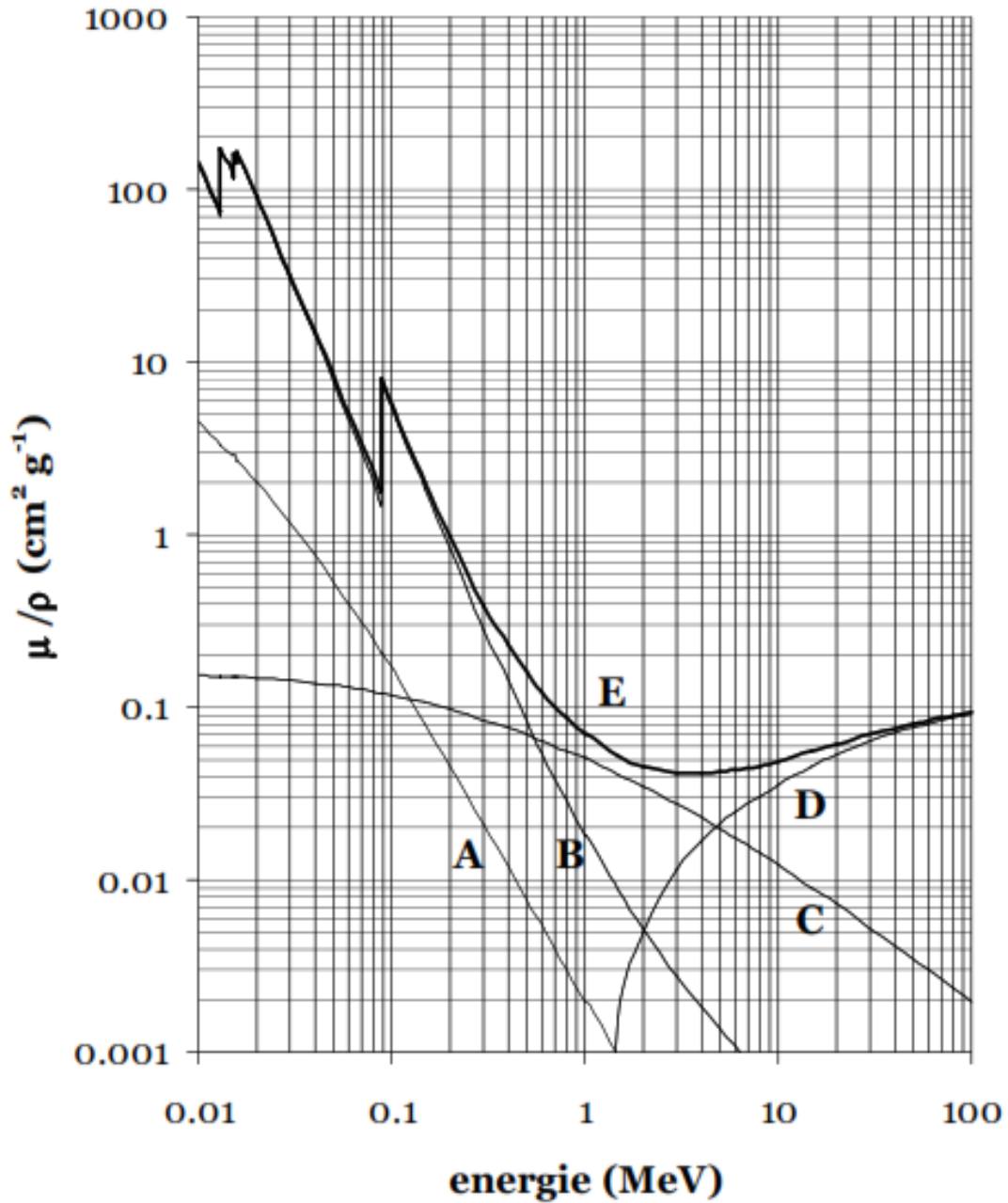
Kermatempo in lucht	$k = 0,0043 \text{ } \mu\text{Gy/h per MBq/m}^2$
Omgevingsdosisequivalenttempo	$h = 0,0063 \text{ } \mu\text{Sv/h per MBq/m}^2$

**Diversen**

Specifieke activiteit	$A_{sp} = 4,07 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$
Vrijstellingsgrenzen	$C_v = 10^3 \text{ Bq/g}$ en $A_v = 10^7 \text{ Bq}$
Huidbesmetting	$H_{\text{huid}} = 4 \times 10^{-10} \text{ Sv/s per Bq/cm}^2$
Wondbesmetting; Injectie	$e(50) = 5,0 \times 10^{-10} \text{ Sv/Bq}$
Vervoer	$A_1 = 30 \text{ TBq}$ $A_2 = 0,7 \text{ TBq}$

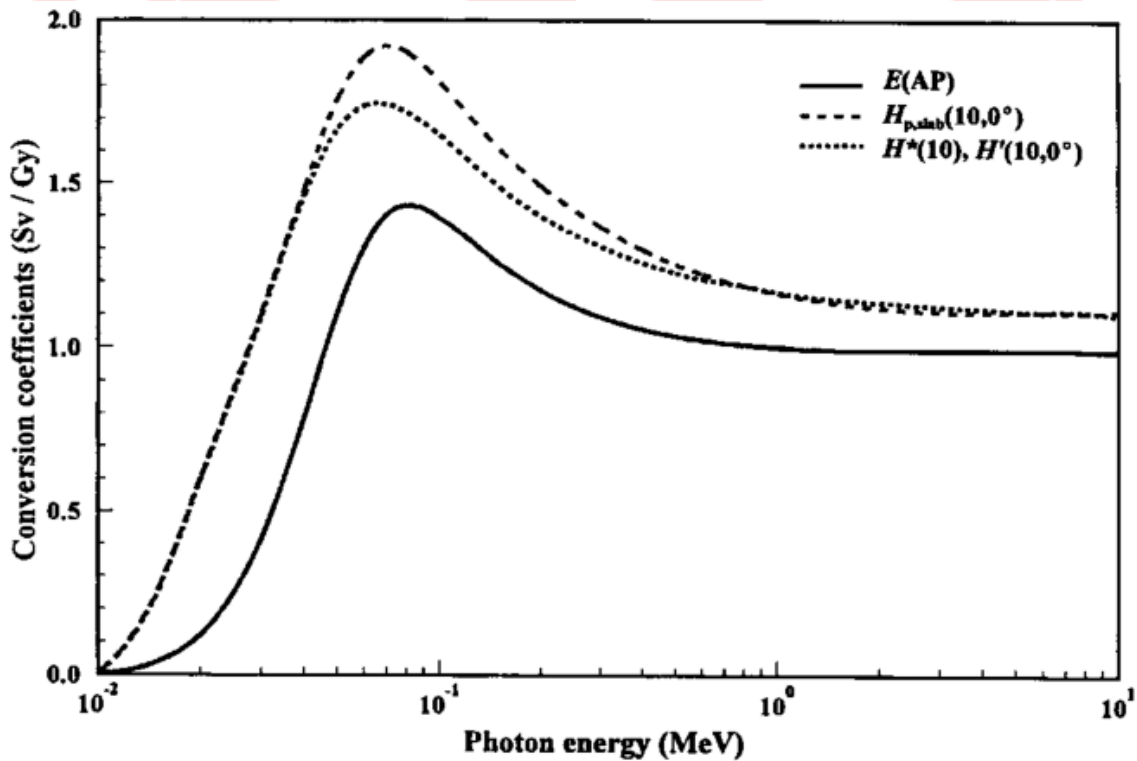
## Massieke verzwakkingscoëfficiënten van lood

### Lood



Figuur 6.14 Massieke verzwakkingscoëfficiënten van lood voor (A) Rayleigh-verstrooiing, (B) foto-elektrisch effect, (C) Compton-effect, (D) paarvorming en (E) de totale massieke verzwakkingscoëfficiënt  $\mu/\rho$ .

**Conversiecoëfficiënten van luchtkerma naar omgevingsdosisequivalent als functie van fotonenergie**



*Conversiecoëfficiënten van luchtkerma  $K_a$  naar omgevingsdosisequivalent  $H^*(10)$ , effectieve dosis  $E(AP)$  in een fantoom van een volwassene in de anterior-posteriorgeometrie, en persoonsdosisequivalent  $H_{p,slab}(10)$  in een ICRU-slab.*

