Basale Dosimetrie II

Coördinerend stralingsdeskundige

2025

Te behandelen:

- Uit het oefenboek
  - Hoofdstuk 7: vragen 3 en 5
- College: de rest ten aanzien van basale dosimetrie, inclusief de uitwendige dosimetrie/detectie
- Uit het oefenboek
  - Hoofdstuk 9: vraag 1 t/m 5

Hoofdstuk 7 Basale dosimetrie

- Vraag 3

In de opgave staat R voor röntgen en A voor ampère. Gegeven zijn de omrekeningsfactoren:

1 R $\rightarrow$ $2{,}58\times10^{-4}$ C kg^{-1} 1 R $\rightarrow$ 8,695 mGy
1 Ci = $3{,}7\times10^{10}$ Bq (= 37 miljard)

- a. druk 1 R m^2 Ci^{-1} h^{-1} uit in Sv m^2 Bq^{-1} h^{-1}
- b. druk 1 Sv m^2 Bq^{-1} h^{-1} uit in A m^2 Bq^{-1} kg^{-1}

In vergelijking a. zijn twee eenheden hetzelfde

3a. Druk 1 R m^{-2} Ci^{-1} h^{-1} uit in … Sv m^{-2} Bq^{-1} h^{-1}

- De eenheden R en Ci moeten derhalve omgezet worden naar → Sv en Bq

- Van Ci → Bq is een directe omzetting

$1\ Ci \cong 3{,}7 \times 10^{10}\ Bq$

- Van R naar Sv gaat in 2 stappen

stap 1: van R naar Gy R^{-1}

$1\ R \cong 8{,}695\ mGy$

stap 2: van Gy naar Sv Gy^{-1}

Vervolg:

1 Ci ≅ 3,7 x 10^{10} Bq (activiteit)

1 R ≅ 8,695 mGy (e X posie → Dosis)

Gy → Sv/Gy (Dosis → H equivalente dosis)

Onderstaande gegevens:

$1\ Ci \cong 3{,}7 \times 10^{10}\ Bq$

$1\ R \cong 8{,}695\ mGy$

Gy → Sv/Gy

→ invullen in de vergelijking

$(1) R\ m^2\ Ci^{-1}\ h^{-1} \cong \ldots\ldots\ Sv\ m^2\ Bq^{-1}\ h^{-1}$

De gegevens/samenhangingen ingevuld in

$$(1) R\ m^2\ Ci^{-1}\ h^{-1} \cong \ldots\ldots\ Sv\ m^2\ Bq^{-1}\ h^{-1}$$

geeft:

$$\frac{1\ R\ m^2\ Ci^{-1}\ h^{-1} \times 8{,}695 \times 10^{-3}\ Gy\ R^{-1} \times 1\ Sv\ Gy^{-1}}{3{,}7 \times 10^{10}\ Bq\ Ci^{-1}}$$

$$(1)\ \frac{R\ m^2\ Ci^{-1}\ h^{-1} \times 8{,}695 \times 10^{-3}\ Gy\ R^{-1} \times 1\ Sv\ Gy^{-1}}{3{,}7 \times 10^{10}\ Bq\ Ci^{-1}}$$

$$= (2{,}35 \times 10^{-13})\ Sv\ m^2\ Bq^{-1}\ h^{-1}$$

3b. Druk 1 Sv m^2 Bq^{-1} h^{-1} uit in A m^2 Bq^{-1} kg^{-1}

- Hierbij moeten de Sv h^{-1} naar A kg^{-1}

- (1) Sv m^2 Bq^{-1} h^{-1} x 1 Gy Sv^{-1} = 1 Gy m^2 Bq^{-1} h^{-1}

- $$\frac{\text{(1) Gy } m^2 \text{ } Bq^{-1} \text{ } h^{-1}}{8{,}7 \times 10^{-3} \text{ Gy } R^{-1} \times 3600 \text{ s } h^{-1}} = (0{,}032) \text{ R } s^{-1} \text{ } m^2 \text{ } Bq^{-1}$$

- $\frac{(1)\ Gy\ m^2\ Bq^{-1}\ h^{-1}}{8,7 \times 10^{-3}\ Gy\ R^{-1} \times 3600\ s\ h^{-1}} = (0,032)\ R\ s^{-1}\ m^2\ Bq^{-1}$

R → C kg^{-1} geeft $(8,2 \times 10^{-6})$ C kg^{-1} s^{-1} m^2 Bq^{-1} en C s^{-1} = A

En dan geeft C kg^{-1} s^{-1} m^2 Bq^{-1} → A m^2 Bq^{-1} kg^{-1}

'Dus' (1) Sv m^2 Bq^{-1} h^{-1} ≅ $(8,2 \times 10^{-6})$ A m^2 Bq^{-1} kg^{-1}

Dosimetrie (vervolg college)

- Basale dosimetrie
- Uitwendige dosimetrie/detectie

Items

- Bronconstante (dosis als gevolg van uitwendige bestraling)
- Vuistregels bronconstanten
- ICRU-bol (weefselequivalent)
- Omgevingsdosis equivalent H*(d)
- Bestralingsgeometrieën
- Persoonsdosisequivalent $H_p(d)$
- ICRP-103 versus ICRP-60 (w_T veranderingen)
- Persoonsdosis $H_p(0,07)$ en $H_p(10)$

Bronconstante (radioactief element)

- Hoeveel straling zendt het element welke een bepaalde activiteit heeft uit?

- Voor γ-straling van ^{60}Co zijn deze constantes:

- 0,31 uGy $\cdot$ m^2 $\cdot$ MBq^{-1} $\cdot$ h^{-1} (kermatempo in lucht)
- 0,36 uSv $\cdot$ m^2 $\cdot$ MBq^{-1} $\cdot$ h^{-1} (omgevingsdosistempo)

Berekening van beide dosestempi

- Indien de activiteit (A in Bq) bekend is kan het dosistempo in lucht en het equivalente dosistempo op een bepaalde afstand uitgerekend worden met de formules:

$$\dot{D} = \frac{d \cdot A}{r^2} \quad \text{en} \quad \dot{H} = \frac{h \cdot A}{r^2}$$

Ook voor β-bronnen is zo'n constante bekend!

Vuistregels voor bronconstanten

- γ-bronnen

  Een activiteit van 1 MBq levert op een afstand van 1 m een H van $0{,}14 \cdot E_\gamma$ μSv $\cdot$ h^{-1} (E/7)
  (Voor het *kermatempo* in lucht blijkt dit $\approx$ E/8 te zijn)

- β-bron(nen)

  Een activiteit van 1 MBq levert op een afstand van 1 m een H van 10 μSv $\cdot$ h^{-1} (E 0,2 – 20 MeV)

Hoofdstuk 7 Basale dosimetrie

- Vraag (5)

Een radioactieve ^{60}Co bron zendt γ-fotonen uit met energieën van 1,17 en 1,33 MeV; de emissiewaarschijnlijkheid is 100%.

- Opdracht: maak een schatting van de bronconstante (in $\mu Sv\ h^{-1}\ MBq^{-1}\ m^2$)

N.B. Zie vuistregels op voorgaande dia.

- Voor het *omgevingsdosistempo* (h) geldt E/7

Totaal uitgezonden energie is 2,5 MeV (1,17 + 1,33) per desintegratie!

h: 2,5/7 = 0,36* $\mu Sv\ h^{-1}\ MBq^{-1}\ m^2$

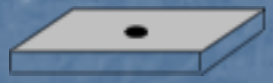
- De kermatempoconstante (d) in lucht → E/8

d: 2,5/8 = 0,31* $\mu Gy\ h^{-1}\ MBq^{-1}\ m^2$

* Handboek Radionucliden derde druk 2015 (A.S. Keverling Buisman)

Cs ijkbron* → berekenen van de huiddosis t.g.v. de β- en γ-straling

Een ^{137}Cs-ijkbron met afmetingen
van 2 mm × 10 mm × 20 mm heeft
een activiteit van 370 kBq = 0,37 MBq.



De activiteit bevindt zich in het centrum van de ijkbron. Het nuclide is een β-emitter en zendt daarnaast een γ-foton uit met een energie 0,66 MeV met een emissiewaarschijnlijkheid f_γ = 0,85

* Zie ook Hoofdstuk 16.2.2 Boek SH

Als men de ijkbron aan de smalste zijde tussen duim en wijsvinger beetpakt, is de afstand tot de huid 1 mm. Volgens de vuistregels veroorzaken de β- en γ-straling een equivalent huiddosistempo van:

$$H_\beta = \frac{10 \times A}{r^2} \rightarrow \frac{10 \times 0{,}37}{(10^{-3})^2} = 3{,}7 \text{ Sv h}^{-1}$$

$$H\gamma = \frac{E/7 \times A \times \gamma}{r^2} \rightarrow \frac{0{,}662/7 \times 0{,}37 \times 0{,}85}{(10^{-3})^2} \quad \text{of}$$

$$H\gamma = \frac{d \times A}{r^2} \rightarrow \frac{0{,}093^* \times 0{,}37 \times 0{,}85}{(10^{-3})^2} = 0{,}03 \ \mu\text{Sv h}^{-1}$$

* Handboek Radionucliden derde druk 2015 (A.S. Keverling Buisman)

Voorbeeld

Stel dat de handeling 1 seconde duurt.
Als een werknemer dit gedrag tweemaal per dag herhaalt, is de equivalente jaardosis:

$2 \times 5 \times 50 \times 3{,}73 \times 10^6 / 3600 \approx 500$ mSv

Deze dosis H_{handen} is gelijk aan de jaarlimiet voor blootgestelde werknemers!

N.B. Veranderingen ten aanzien van het (omgevings) dosisequivalenttempo van een radionuclide:

- Handboek Radionucliden (3e druk - A.S. Keverling Buisman)

^{60}Co → kermatempo in lucht = 0,31 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2

→ omgevingsdosisequivalenttempo = 0,36 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

^{137}Cs → kermatempo in lucht = 0,077 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2

→ omgevingsdosisequivalenttempo = 0,093 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

- Radionuclide Handbook (4th edition - A.S. Keverling Buisman)

^{60}Co → 'point source ambient dose equivalent' = 0,31 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

^{137}Cs → 'point source ambient dose equivalent' = 0,078 µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

Opmerkelijk is dat uit onderzoek is gebleken dat de nieuwe constanten voor het omgevingsdosisequivalenttempo voor deze energieën (^{60}Co – gemiddeld 1250 keV en ^{137}Cs – 662 keV) vrijwel gelijk zijn aan de 'oude' kermatempi in lucht……

- Handboeken (2015 en 2020) vergeleken:

^{60}Co → kermatempo in lucht = 0,31 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2

→ **'point source ambient dose equivalent' = 0,31** µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

---

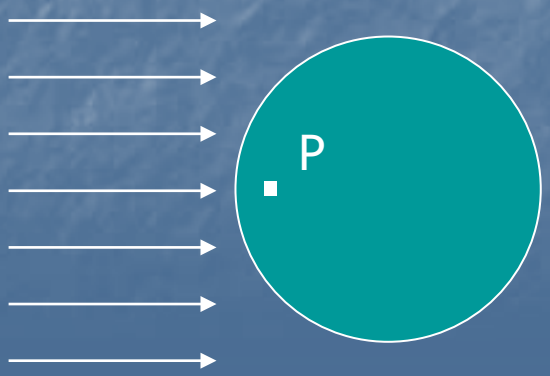
^{137}Cs → kermatempo in lucht (Cs 137) = 0,077 µGy h^{-1} MBq^{-1} m^2

→ **'point source ambient dose equivalent' = 0,078** µSv h^{-1} MBq^{-1} m^2

ICRU-bol ($\oplus$ 30 cm)

ICRU plaat $H_{p,slab}$ → 30x30x15 cm^3

- Aantal operationele dosisgrootheden niet voor menselijk weefsel maar wel voor deze weefselequivalente bol gedefinieerd
- Omgevingsdosisequivalent H*(d) gedefiniëerd als de equivalente dosis in P (d in mm)



Definitie van verschillende waardes voor de equivalente dosis [H*(d)]

- H*(10) goede benadering van de effectieve dosis (E) in AP geometrie;
- H*(0,07) goede schatter van de equivalente huiddosis;
- H*(3) voor de equivalente oog(lens) dosis

Ook de bundelgeometrie en de fotonenergie zijn van belang voor de verhouding E / $H^*(10)$

(curven verschillende geometrieën pag. 134 Boek SH)



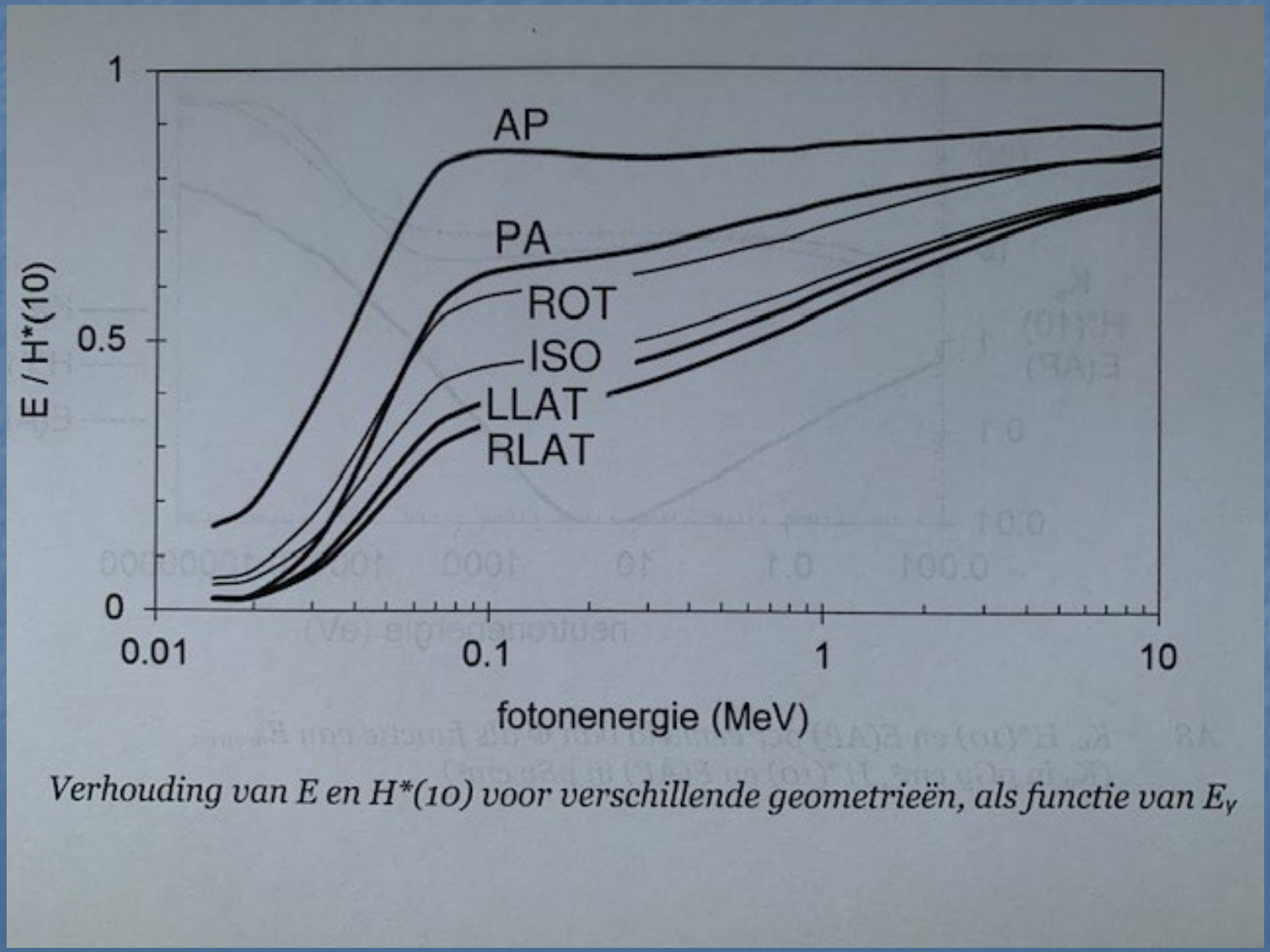
Hoofdstuk 9 Operationele dosimetrie

- Vraag 3

  Tijdens een isotrope bestraling met 100 keV fotonen wordt een effectieve dosis van 10 mSv ontvangen. Wat zou de effectieve dosis zijn geweest bij een bestraling van ……

  - a. voren
  - b. achteren
  - c. links
  - d. rechts

- Vraag 3 (verschillende geometrieën)



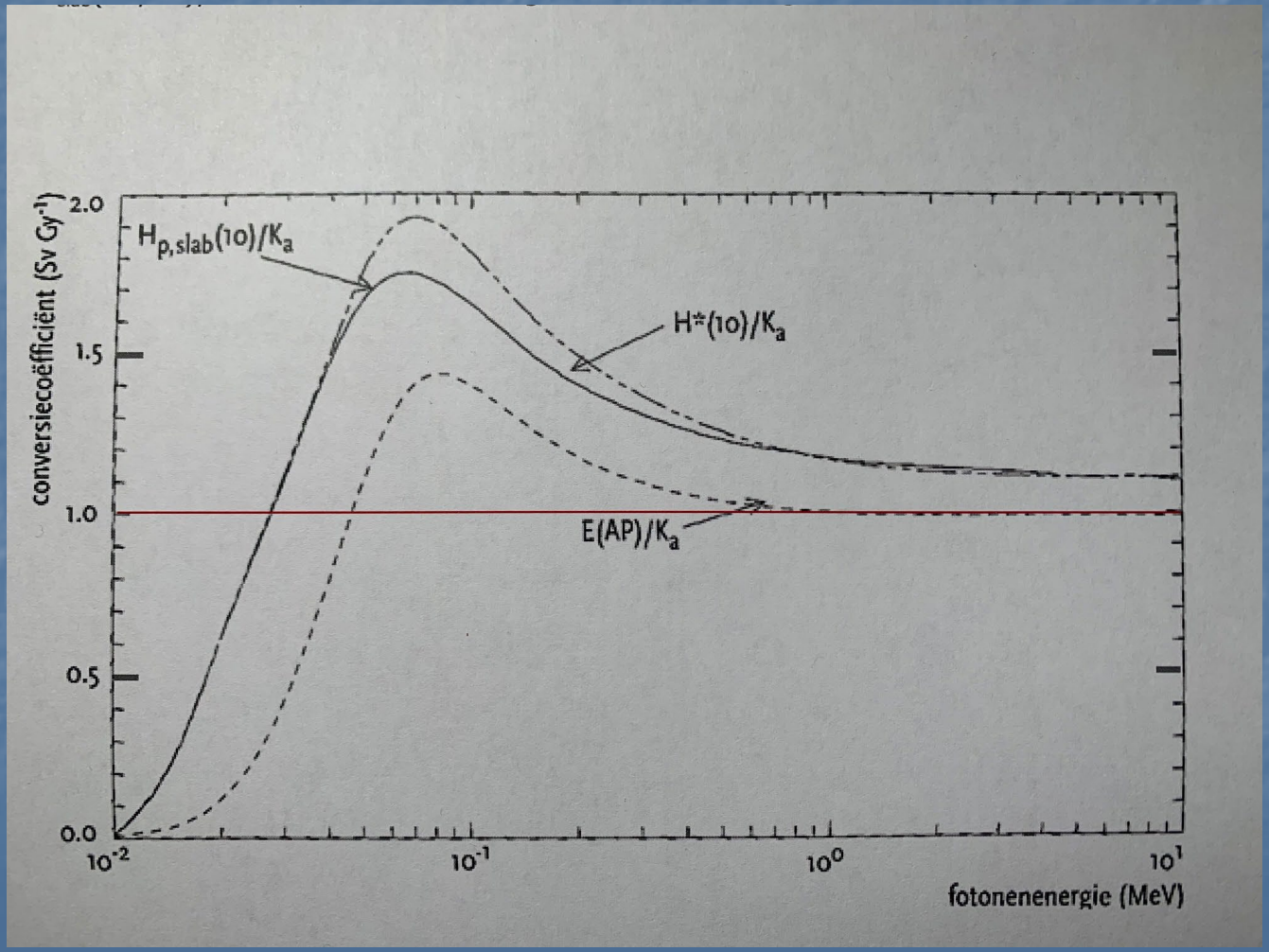
Verhouding van E en H(10) voor verschillende geometrieën, als functie van E_γ*

Uitgangspunt 'uniform vanuit alle richtingen' (= 'isotroop')

- Curve isotroop: $E/H^*(10) = 0{,}45$

- $E(AP)/H^*(10) = 0{,}85 \rightarrow E(AP) = 0{,}85/0{,}45 \times 10$ mSv (18,9)
- $E(PA)/H^*(10) = 0{,}63 \rightarrow E(PA) = 0{,}63/0{,}45 \times 10$ mSv (1,40)
- $E(LL)/H^*(10) = 0{,}39 \rightarrow E(LL) = 0{,}39/0{,}45 \times 10$ mSv (0,87)
- $E(RL)/H^*(10) = 0{,}35 \rightarrow E(RL) = 0{,}35/0{,}45 \times 10$ mSv (0,78)

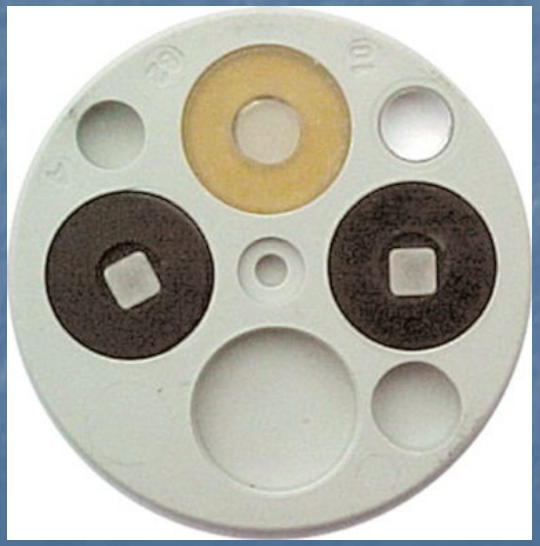
Verhouding equivalente- en effectieve dosis ten opzichte van 'airkermarate' (K_l)

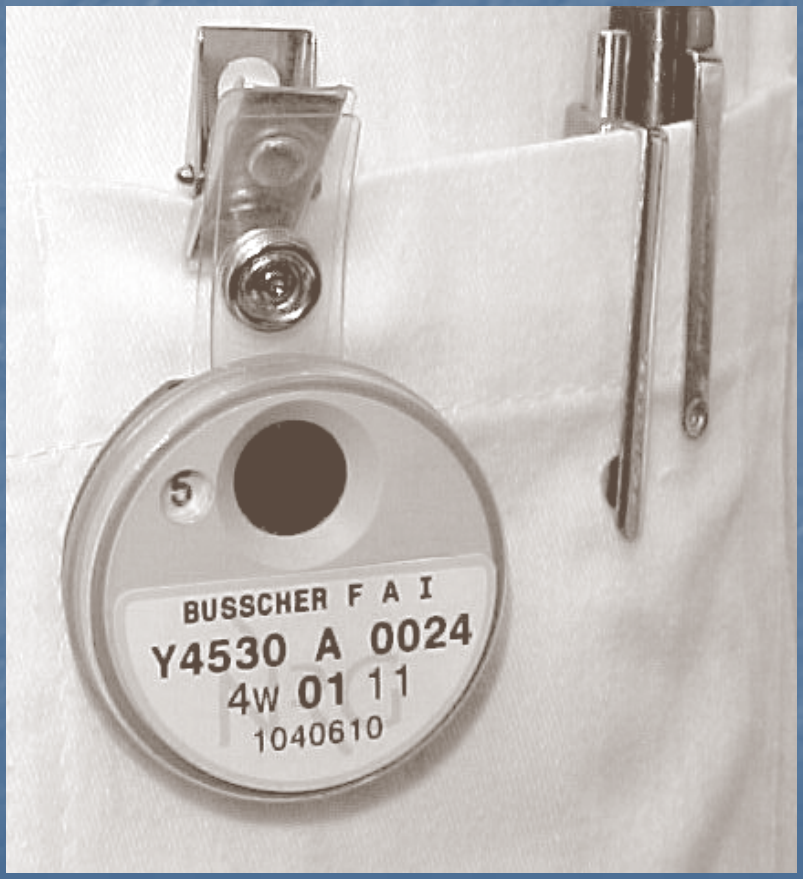


Persoonsdosis $H_p(0,07)$ en $H_p(10)$

- NRG stralingsbadge (TLD)
- Meerdere ‘doses’ (huid- en dieptedosis) kunnen worden gemeten
- Eventueel ook elektronen en neutronen(?)

Thermoluminescentiedosimetrie (TLD)





Hoofdstuk 9 Operationele dosimetrie

1) In een gemengd stralingsveld loopt een werknemer een exposie op van 70 mR ten gevolge van γ-fotonen en een geabsorbeerde dosis van 0,5 mGy ten gevolge van neutronen. De W_R van de neutronen is 8 Sv Gy^{-1}: ga ervan uit dat het gehele lichaam gelijkmatig is bestraald.

Bereken de effectieve dosis (1R $\approx$ 0,01Gy)

D (Gy) → H (Sv) → E (Sv)

- Bijdrage van de γ-straling aan E
  - 70 mR x 0,01 Gy R^{-1} = 0,7 mGy (0,7 mSv)
- Bijdrage van de n aan E (N.B. W_R = 8 Sv Gy^{-1})
  - 0,5 mGy x 8 Sv Gy^{-1} = 4 mSv
- Totale effectieve dosis: 4,7 mSv

Hoofdstuk 9 Operationele dosimetrie

- Vraag 2

De bijdrage tot de effectieve dosis t.g.v. bestraling van de longen door de α-emitter radon bedraagt 0,90 mSv jaar^{-1}. De W_r voor α-straling is 20 en de weefselweegfactor (W_T) voor de longen is 0,12.

- a. Hoeveel bedraagt de equivalente longdosis jr^{-1}?
- b. Bereken de geabsorbeerde jaardosis van de longen.

2a. H_{long} jaar $^{-1}$?

- E = 0,9 mSv, waarbij de $W_{T(long)}$ = 0,12
- $H_{long} = E/W_T \rightarrow \quad \frac{0{,}9 \text{ mSv jr}^{-1}}{0{,}12} = 7{,}5 \text{ mSv jr}^{-1}$

2b. jaardosis (D) in de longen?

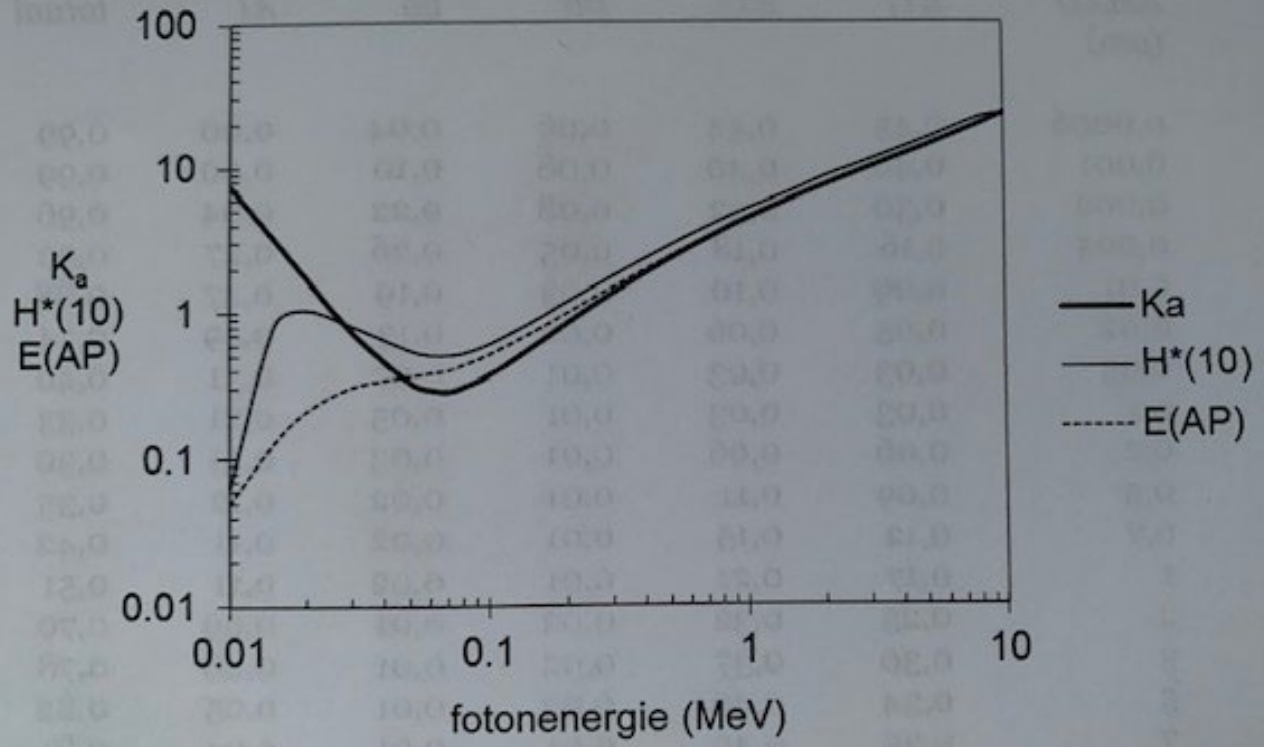
- $H_{long} = D_{long} \times W_r$
- $D_{long} = H_{long} / W_r$
- $D_{long} = 7{,}5\ mSv\ jr^{-1} / (20\ Sv\ Gy^{-1})$
- $D_{long} = 375\ \mu Gy$ (0,38 mGy)

Hoofdtuk 9 Operationele dosimetrie

- Vraag 4
- In een veld van 20 keV fotonen bedraagt het fluentietempo $\varphi = 1{,}0\times10^{9}$ cm^{-2} s^{-1}. De fotonen komen uitsluitend van voren (AP).

  - a. Hoeveel bedraagt het kermatempo in lucht?
  - b. Wat is het omgevingsdosisequivalenttempo?
  - c. Hoeveel bedraagt de (het) effectieve dosis(tempo…)?

K_a, H*(10) en E(AP) per eenheid van fluentie als functie van E_γ



K_a, H(10) en E(AP) per eenheid van Φ als functie van E_γ*
(K_a in pGy cm², en H(10) en E(AP) in pSv cm²)*

Fluentietempo $\varphi = 1{,}0 \times 10^{9}$ cm^{-2} s^{-1}

- Kermatempo in lucht?
- - $K_a = 1{,}8$ pGy cm^2 x fluentie
- - $K_a = 1{,}8$ pGy cm^2 x 10^9 cm^{-2} s^{-1}
- - $K_a = 1{,}8 \times 10^{-3}$ Gy s^{-1}

- - $K_a = 1{,}8$ mGy/s

Voor b en c geldt:

4b. Omgevingsdosisequivalenttempo?

- $H^*_{(10)}$ = 1 pSv cm^2 x 10^9 cm^{-2} s^{-1}
- $H^*_{(10)}$ = 10^{-3} Sv s^{-1} → 1 mSv/s

4c. Effectieve $dosis_{(tempo)}$?

- $E_{(AP)}$ = 0,2 pSv cm^2 x 10^9 cm^{-2} s^{-1}
- $E_{(AP)}$ = 0,2 pSv x 10^9 s^{-1} → 0,2 mSv s^{-1}

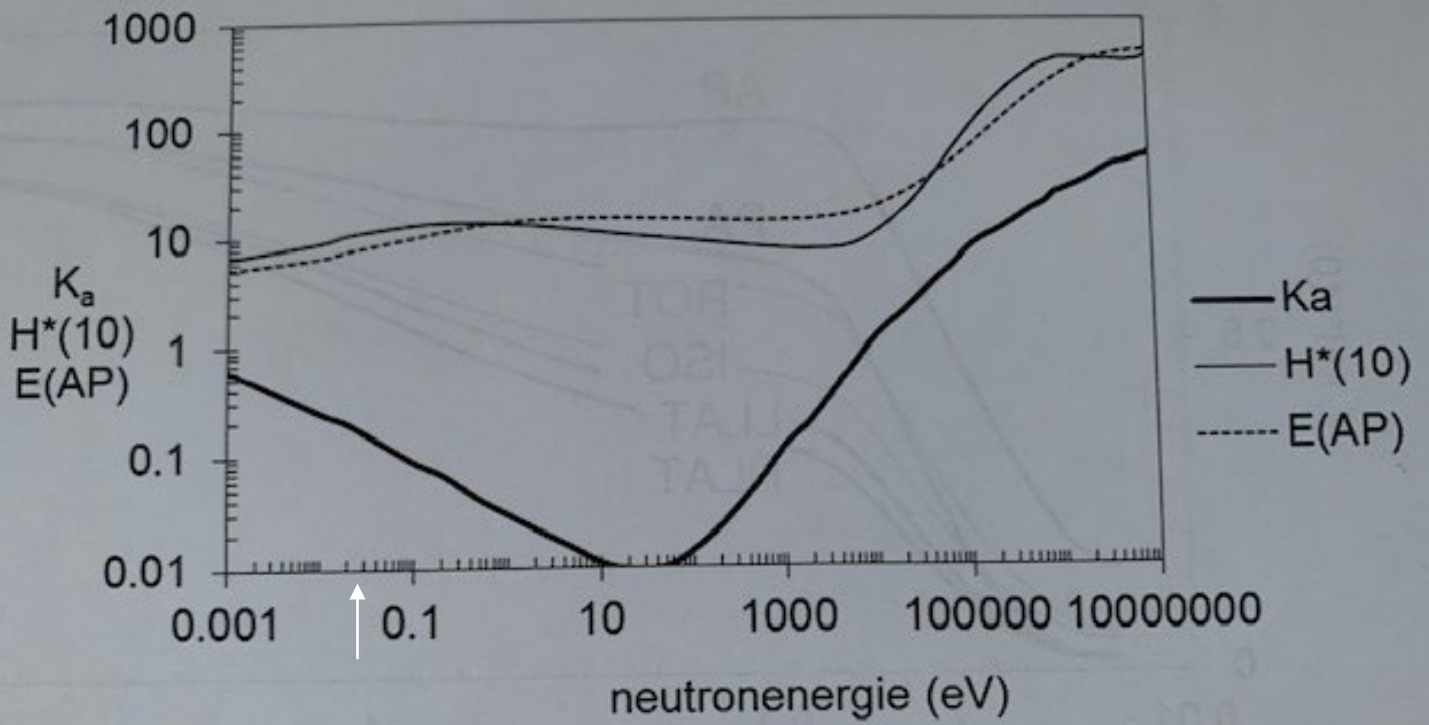
Hoofdtuk 9 Operationele dosimetrie

- Vraag 5

In een veld van thermische neutronen met energie E_n = 25 meV bedraagt de kerma in lucht 1 mGy. De neutronen komen uitsluitend van voren.

- a. Bepaal het omgevingsdosisequivalent.
- b. Bepaal de effectieve dosis.

K_a, H*(10) en E(AP)



K_a, H(10) en E(AP) per eenheid van Φ als functie van $E_{neutron}$*
(K_a in pGy cm², H(10) en E(AP) in pSv cm²)*

Oplossing (K_a = 0,2 pGy cm^2)

- 5a. Omgevingsdosisequivalent?
  - - $H^*_{(10)} = \frac{11\ pSv\ cm^2}{0,2\ pGy\ cm^2} \times 1\ mGy = 55\ mSv$

5b. Effectieve dosis?

- - $E_{(AP)} = \frac{8\ pSv\ cm^2}{0,2\ pGy\ cm^2} \times 1\ mGy = 40\ mSv$

The end for now!

Een volgende bijeenkomst nog te behandelen:

- Enkele specifieke vraagstukken over externe dosimetrie uit het vraagstukkenboek.