Basale Dosimetrie

Coördinerend stralingsdeskundige (CD)

tot 2017 ‘Stralingsdeskundige niveau 3’

2025

Onderwerpen

- Grootheden en eenheden

- Exposie(tempo)
- Kerma(tempo)
- Dosis(tempo)
- Equivalente dosis
- Effectieve dosis

Grootheden en eenheden

Grootheid	Eenheid	
Direct		
Exposie	R (oud)	C/kg
Indirect		
Kerma *'Kinetic energy released in material'*	Gy	J/kg
Geabsorbeerde dosis (D)	Gy	J/kg
Equivalente dosis (H)	Sv	
Effectieve dosis (E)	Sv	

Exposie X (definitie)

- Hoeveelheid lading van één teken (in C) die per eenheid van massa in lucht wordt vrijgemaakt

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m}$$

- 1 elektron heeft een lading van $1,6 \times 10^{-19}$ C
- Een lading van 1 C geeft $[1/(1,6 \times 10^{-19})]$ $6,25 \times 10^{18}$ elektronen door fotonen vrijgemaakt
- Let wel: 1A = 1C/s → 1 As = 1 C → 1 mA·s = 1 mC

- 1 R komt overeen met $2,58 \times 10^{-4}$ C/kg

Kerma (gedefiniëerd voor indirect ioniserende straling; energieoverdracht (J/kg) voor wat de primaire interactie betreft)

- Kinetische energie 'vrijgelaten' in materie

$$K_{air} = X \times \frac{W}{e} \times \frac{1}{1-g}$$

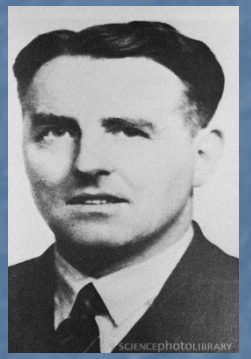
- X = exposie
- W/e = quotiënt van de gemiddelde energie nodig
  - voor de vorming van 1 ionenpaar in lucht en
  - een elementair lading (= 33,97 J/C → $\approx 34\ eV$)
- g = fractie van de kinetische energie van de geladen deeltjes omgezet in remstraling

Dosis (definitie)

- Geabsorbeerde energie (J) per eenheid van massa (kg):

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

Gy → vernoemd naar L.H. Gray
(fysicus - 1905-1965)



- D = (geabsorbeerde) dosis (J/kg)
- Δ E = de geabsorbeerde energie van de elektronen
- Δ m = de massa in kg

Relatie (geabsorbeerde) dosis → kerma

- Indien er *elektronenevenwicht* * heerst in de aangestraalde materie dan is de geabsorbeerde dosis gelijk aan de kerma

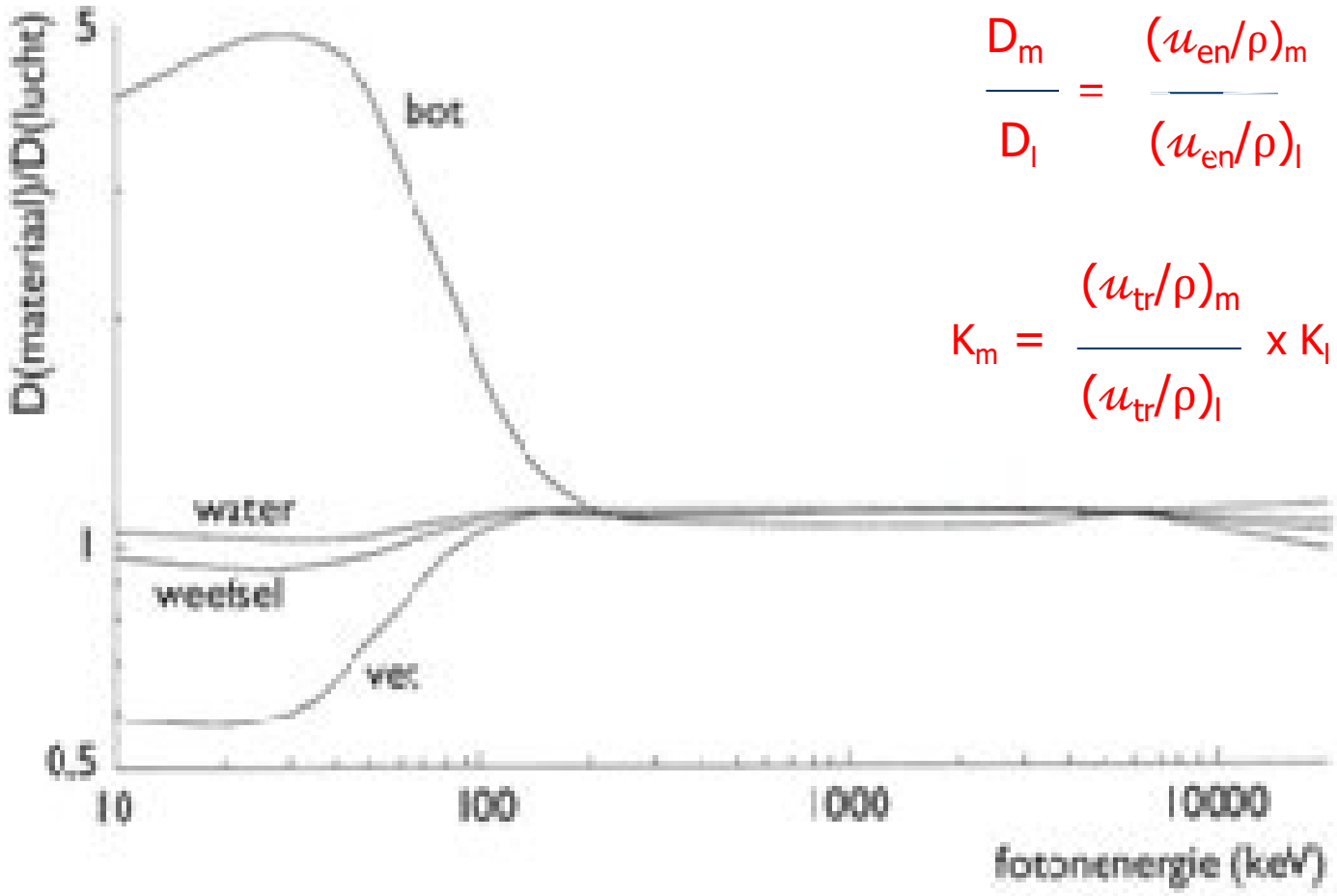
- Praktisch is de samenhang als volgt:

$$D = K \times (1-g)$$

g = de fractie van de elektronenenergie die omgezet wordt in remstraling (en dus 'verdwijnt')

* evenveel elektronen in = aantal elektronen uit (het meetvolume)

Is de dosis in materiaal en weefsel anders dan de dosis in lucht? (Ja; afhankelijk van ρ_{mat} en de fotonenergie)



$$\frac{D_m}{D_l} = \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_l}$$

$$K_m = \frac{(\mu_{tr}/\rho)_m}{(\mu_{tr}/\rho)_l} \times K_l$$

De dosis in verschillende materialen t.o.v. de dosis in lucht is afhankelijk van de dichtheid(1) van het materiaal en van de opvallende fotonenergie(2)

- (1) door verschillende μ_{en}/ρ (massieke energieabsorptie-coëfficient)
- (2) tot 150 - 200 keV is er verschil door het verschil in μ_{en}/ρ in de materialen

(2) boven de 200 keV tot ≈ 10 MeV is deze vrijwel gelijk o.a. door overheersing comptonproces

(2) boven de 10 MeV speelt de paarvorming een grotere rol

Massieke verzwakking-, energieoverdracht- en energieabsorptiecoëfficiënt voor enkele materialen voor een fotonenergie van 0,5 MeV

Materiaal (cm^2g^{-1})	μ/ρ	μ_{tr}/ρ	μ_{en}/ρ
water	0,0966	0,0330	0,0330
spier	0,0958	0,0328	0,0328
bot	0,0926	0,0317	0,0317
lucht	0,0868	0,0296	0,0296
lood	0,0886	0,0503	0,0481

- Let op: de eenheid van alle coëfficiënten is $cm^2\ g^{-1}$

We weten nu in principe veel over de grootheid geabsorbeerde dosis,

….. maar …..

… wat zijn de schadelijke gevolgen, c.q. wat is de biologische schade die aangericht wordt ten gevolge van een hoeveelheid (gebasorbeerde) dosis?

‘Probleem’:

- De geabsorbeerde dosis (J/kg) is een fysische grootheid en geeft te weinig informatie over de biologische effecten en derhalve over het risico van een bepaalde hoeveelheid straling

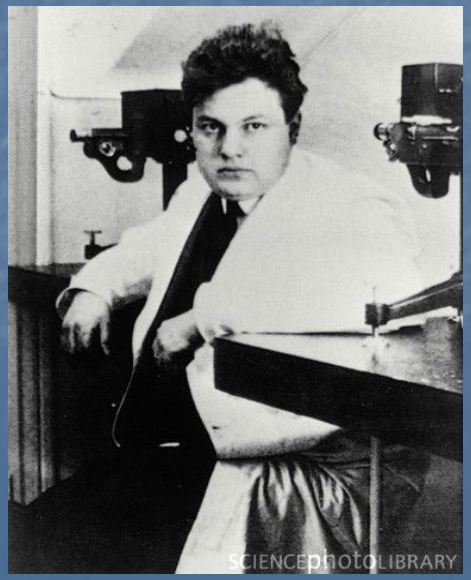
Schade aan weefsel c.q. biologische effecten?

- De fysicus Sievert vroeg zich af of een bepaalde hoeveelheid geabsorbeerde energie van verschillende soorten straling hetzelfde effect, c.q. dezelfde schade, aan het weefsel aanricht …..

..... nee dus .....

Sievert

(1896-1966)



De geabsorbeerde dosis (Gy) moet nog omgerekend worden met de stralingsweegfactor W_R naar een zogenoemde ‘equivalente (orgaan)dosis’ (Sv);

deze W_R is afhankelijk van de gebruikte stralensoort

Van geabsorbeerde dosis naar equivalente dosis met de stralingsweegfactor (w_R)

Soort straling	W_R
Alfa	20
Bèta	1
Gamma	1
Röntgenstraling	1
Protonen	2-5*
Neutronen	2,5-20*

* Afhankelijk van de energie van de deeltjes

Kortom:

- Equivalente dosis H = Geabsorbeerde dosis D x w_R

oftewel

→ $H_T = D_T \times w_R$

(totale equivalente dosis is een sommatie)

Eenheid H_T is Sievert (J/kg)

Sievert (J/kg) ≠ Gray (J/kg)!

Effectieve dosis (Sv)

- Dosis omgerekend naar het gehele lichaam (geeft een risicogetal)

- Afhankelijk van:
  - equivalente dosis (op een beperkt gebied)
  - weefselweegfactoren w_T (volgende dia)
  - voor het gehele lichaam geldt: $w_T = 1$

'Tissue weighting factors' (ICRP 103)

- Beenmerg, dikke darm, longen, borsten, maag, rest* 0,12
- Gonaden 0,08
- Blaas, slokdarm, lever, schildklier 0,04
- Botoppervlak, hersenen, speekselklier, huid 0,01
- *rest
  (bijnier, galblaas, hart, lymfeknopen, spier [28 kg], mondslijmvlies, alvleesklier, prostaat, milt, zwezerik, baarmoeder {gemiddelde dosis nemen en 'wegen'...} 0,12

Effectieve dosis (Sv)

- Lokale equivalente dosis omgerekend naar het gehele lichaam (N.B.: het risico van overlijden is 5%/Sv)

- Samengestelde grootheid rekening houdend met:
  - effectiviteit van de straling ($w_{Radiation}$)
  - stralingsgevoeligheid van het orgaan (W_{Tissue})

  [zie vorige dia]

  Nogmaals: voor het gehele lichaam geldt → $w_T = 1$
- 'Dus': als het hele lichaam getroffen wordt door strooistraling, dan is de effectieve dosis gelijk aan de equivalete dosis H_T

In 'formules':

- $H_T = D_T \times w_R$

- $E = H_T \times w_T$ (let op: totale equivalente dosis is sommatie)

Eenheid E is Sievert (Sv)

[Sievert (J/kg) ≠ Gray (J/kg)]

Samengevat

- Geabsorbeerde dosis D (in Gy)



w_R

- Equivalente dosis H (in Sv)



w_T

- Effectieve dosis E (in Sv)

Voorbeeld 1

X-thorax (röntgenfoto van de longen)

- De longen, borsten en de schildklier ontvangen alle een dosis van 0,5 mGy

- longen/thorax en borsten $w_T = 0,12$
- schildklier $w_T = 0,04$

N.B. Hoeveel bedraagt de w_R voor röntgenstraling?

Vraagover deze situatie:

Hoeveel bedraagt de equivalente dosis (H) voor deze X-thorax?

- a. 1,5 mGy
- b. 0,5 mGy
- c. 0,5 mSv
- d. 0,14 mSv

Hoeveel bedraagt de equivalente dosis (H) voor deze X-thorax?

- a. 1,5 mGy
- b. 0,5 mGy
- c. 0,5 mSv*
- d. 0,14 mSv

Voorbeeld 2

De maag ontvangt ten gevolge van een neutronenbestraling een orgaandosis van 5 Gy.

- Maag $w_T = 0{,}12$

N.B. De w_R voor neutronenstraling bedraagt hier 10.

Vraag: Hoeveel bedraagt de effectieve dosis?

"D → H → E"
Dosis → Equivalente dosis → Effectieve dosis

- De gebsorbeerde dosis is 5 Gy

- De equivalente dosis is dan 5 Gy x w_R
- 5 Gy x 10 (Sv/Gy) → 50 Sv
- Effectieve dosis: 50 Sv x w_T →

- E = 50 Sv x 0,12 → 6 Sv… (5%/Sv✝???)

Voorbeelden correct 'taalgebruik'

- Wat wordt bedoeld met:

  1) een *dosis* van 2 Sv op de schildklier?

  2) een *effectieve dosis* van 2 Sv t.g.v. een ontvangen schildklierdosis?

Correct taalgebruik!

1) een geabsorbeerde dosis van 2 Gy?

of

een equivalente dosis van 2 Sv?

Bij een w_T van 0,04 voor de schildklier geldt in beide gevallen dat E = 0,08 Sv (= 80 mSv)

Correct taalgebruik!

2) een **effectieve dosis van 2 Sv** t.g.v. de ontvangen schildklierdosis?

In dit geval wordt bedoeld dat het risico c.q. de schade voor het hele lichaam 2 Sv bedraagt.

Vraag: hoe hoog zijn de equivalente dosis en de geabsorbeerde dosis in dit geval?

(50 Sv c.q. 50 Gy bij een W_R van 1)

Even een kopje thee/koffie!

Vervolgens

- Maken en bespreken van een drietal vraagstukken over de zojuist behandelde stof uit de basale dosimetrie

Basale dosimetrie

- Voor de vorming van één ion(enpaar) in lucht is gemiddeld een energie van 33,7 eV nodig.
  (Boek stralingshygiëne pag. 95 geeft 34,0 eV)

- Opdracht 1 (Hoofdstuk 7 vraag 1a)
  Toon door berekening aan dat een exposie van 1 R overeenkomt met een geabsorbeer-de dosis van 8,695 mGy in lucht.

Aantonen → 1 R ≅ 8,695 mGy

- Bekend is dat 1 R overeenkomt met een lading van $2{,}58 \times 10^{-4}$ C/kg (d.i. een constante)

- Hoeveel elektronen zijn dat per kg, als 1 elektron een lading heeft van $1{,}6 \times 10^{-19}$ C?

Oplossing

- 1 R komt overeen met $2{,}58 \times 10^{-4}$ C/kg
- 1 elektron heeft een lading van $1{,}6 \times 10^{-19}$ C
- Aantal elektronen per kg: ?

Oplossing (vervolg)

- 1 R komt overeen met $2{,}58 \times 10^{-4}$ C/kg
- 1 elektron heeft een lading van $1{,}6 \times 10^{-19}$ C
- Aantal e per kg: $\dfrac{2{,}58 \times 10^{-4}\ \text{C kg}^{-1}}{1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C/e}} = 1{,}6_{(125)} \cdot 10^{15}$

Oplossing (vervolg)

- Aantal elektronen/kg: $1{,}6125 \cdot 10^{15}$

De geabsorbeerde dosis (Gy) → Energie/massa = J/kg

Oplossing (vervolg)

Geabsorbeerde dosis van 1 Gy = 1 J/kg

Met hoeveel J komt het aantal vrijgemaakte elektronen overeen als voor het vormen van 1 ionenpaar een energie nodig is van 33,7 eV? (1 eV = 1,6 x 10^{-19} J)

Oplossing (vervolg)

Geabsorbeerde dosis in Gy = J/kg

Aantal eV = aantal elektronen x eV/e

Aantal eV = 1,6125 x 10^{15} e/kg x 33,7 eV/e

→ 5,434 x 10^{16} eV/kg

Aantal eV omrekenen naar joule (J) →

Oplossing (vervolg)

Geabsorbeerde dosis in Gy = J/kg

Aantal eV/kg → 5,434 x 10^{16} eV/kg omrekenen naar

aantal J/kg → aantal eV/kg x J/eV

$E_{J/kg}$ = 5,434 x 10^{16} eV/kg x 1,6 x 10^{-19} J eV^{-1}

0,008695 J/kg oftewel 8,695 mGy (= 0,87 cGy)

Opdracht 2a (Hoofdstuk 7 vraag 2a)

- In een ionisatiekamer met een volume van 500 ml lucht loopt een ionisatiestroom van 10 pA. De ρ_{lucht} bij kamertempemperatuur is 0,0012 g cm^{-3}

  Bereken het exposietempo in R h^{-1}, waarbij 1 R overeenkomt met $2{,}58\times10^{-4}$ C kg^{-1}

Oplossing

- 1 A = 1 C/s [1 A·s = 1 C; 1 mA·s = 1 mC]

- 10 pA = 10 x 10^{-12} C s^{-1}

- N.B.: 1 mL komt overeen met 1 cm^3

Oplossing (vervolg)

- 1 A = 1 C/s
- 10 pA = 10^{-11} C s^{-1}
- 1 mL komt overeen met 1 cm^3

$massa_{lucht}$: 500 ml x 0,0012 g ml^{-1} = 0,6 g

Hoeveel bedraagt het aantal Coulomb/Röntgen?

Oplossing (vervolg)

- 10 pA = 10^{-11} C s^{-1}
- $massa_{lucht}$ = 0,6 g (= 0,6 x 10^{-3} kg)

Aantal Coulomb/Röntgen:

0,6 x 10^{-3} kg x 2,58 x 10^{-4} C kg^{-1} per R

1,548 x 10^{-7} C R^{-1}

Zie volgende dia → deel C s^{-1}/C R^{-1} → R s^{-1}

Oplossing (vervolg)

- 1 A = 1 C/s; 10 pA $=10^{-11}$ C s^{-1}
- $massa_{lucht}$ = 0,6 g
- aantal Coulomb/Röntgen: 1,548 x 10^{-7} C R^{-1}

Deel C s^{-1}/C R^{-1} dan wordt het exposietempo:

10^{-11} C s^{-1}/[1,548 x 10^{-7} C R^{-1}]= 0,646x10^{-4} R s^{-1}

Exposietempo is dan 0,23 R h^{-1}

Opdracht 2b (Hoofdstuk 7 vraag 2b)

- In een ionisatiekamer met een volume van 500 ml lucht loopt een ionisatiestroom van 10 pA. De ρ_{lucht} is 0,0012 g cm^{-3} (bij kamertemperatuur)

Bereken het geabsorbeerde dosistempo; ga er vanuit dat de gehele ionisatiekamer gelijkmatig is bestraald.

Oplossing

Lading (10 pA) per tijd: 10×10^{-12} C s^{-1}

Ionen(paar) per tijd: $\dfrac{10 \times 10^{-12} \text{ C s}^{-1}}{1{,}6 \times 10^{-19} \text{ C/ion}}$

→ …… ionen/s

Oplossing

Lading (10 pA) per tijd: 10×10^{-12} C s^{-1}

Ionen(paar) per tijd: $\frac{10 \times 10^{-12} \text{ C s}^{-1}}{1{,}6 \times 10^{-19} \text{ C/ion}}$

→ $6{,}25 \times 10^{7}$ ionen/s

Oplossing (vervolg)

energie per tijdseenheid: dE/dt

$6{,}25 \cdot 10^{7}$ ion/s x 33,7 eV/ion x $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J eV^{-1}

→ ..... J s^{-1}

Oplossing (vervolg)

energie per tijd: dE/dt

$6{,}25 \cdot 10^{7}$ ion/s x 33,7 eV/ion x $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J eV^{-1}

→ 3,37 x 10^{-10} J s^{-1}

Oplossing (vervolg)

- energie per tijd: 3,37 x 10^{-10} J s^{-1}

- massa (M) van de 500 mL lucht: 0,6 g

Geabsorbeerde dosistempo: $dD/dt = dE/dt/M$

Oplossing (vervolg)

$dE/dt/M$

$$\frac{3{,}37 \cdot 10^{-10}\ \text{J/s}}{0{,}6 \cdot 10^{-3}\ \text{kg}} = 5{,}62 \times 10^{-7}\ \text{Gy/s}$$

Dit komt overeen met 2,0 mGy/h

Kortom:

$0{,}646 \times 10^{-4}$ R s^{-1} (opdracht 2a) komt overeen met de $5{,}62 \times 10^{-7}$ Gy s^{-1} uit 2b

'Dus': 1 R $\cong$ $\frac{5{,}62 \cdot 10^{-7} \text{ Gy/s}}{0{,}646 \cdot 10^{-4} \text{ R/s}}$ → 8,7 mGy

Opdracht 3 (Hoofdstuk 7 vraag 4)

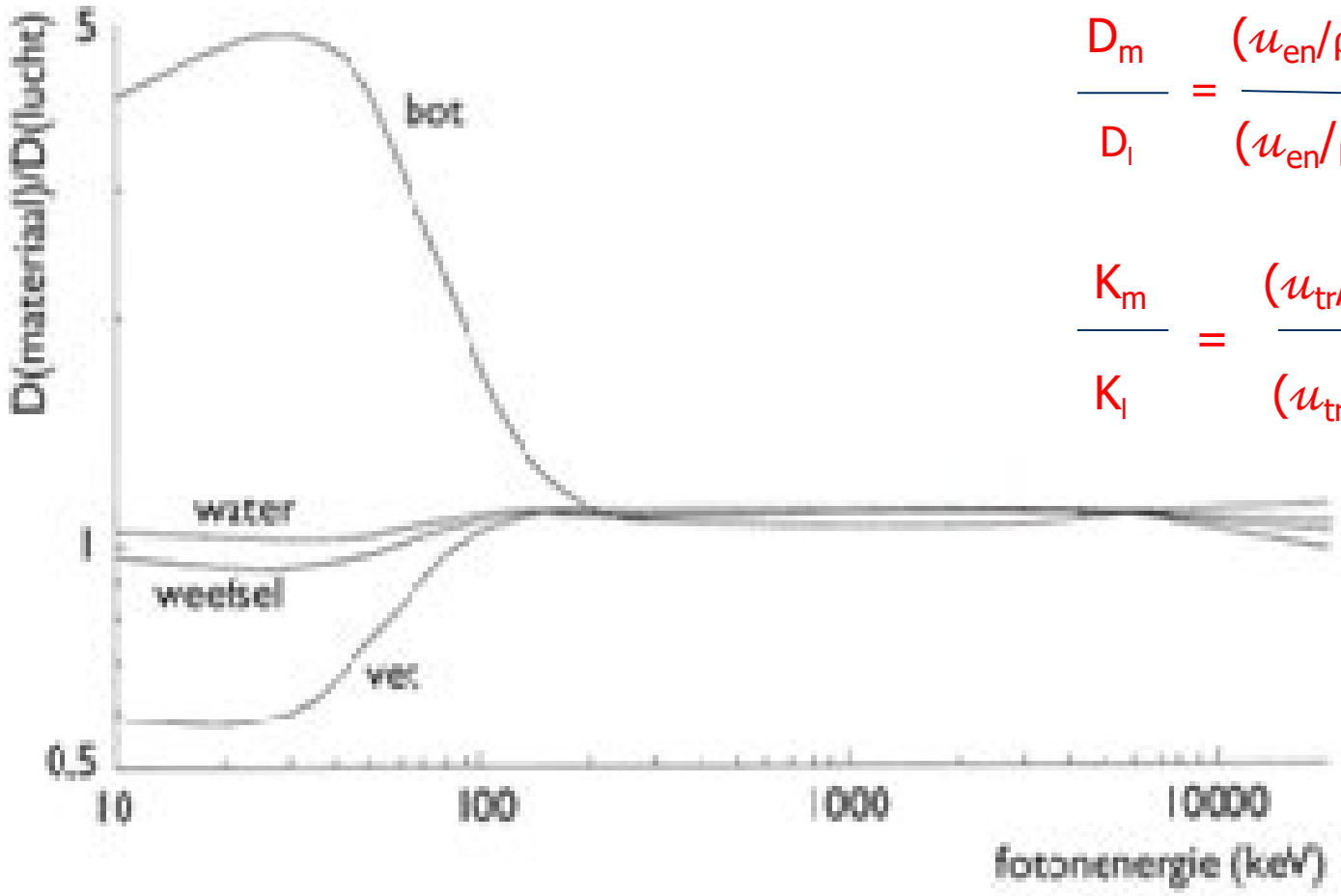
- In een fotonenveld ($E_{fotonen}$ = 0,5 MeV) bedraagt de kerma in lucht 1,0 mGy.
- Bereken:
  - a. De geabsorbeerde dosis in lucht;
  - b. Het kerma in spierweefsel;
  - c. De geabsorbeerde dosis in bot.

N.B. Maak gebruik van de bijgeleverde tabel.

Massieke verzwakking-, energieoverdracht- en energieabsorptiecoëfficiënt voor enkele materialen voor een fotonenergie van 0,5 MeV

Materiaal (cm^2g^{-1})	μ/ρ	μ_{tr}/ρ	μ_{en}/ρ
water	0,0966	0,0330	0,0330
spier	0,0958	0,0328	0,0328
bot	0,0926	0,0317	0,0317
lucht	0,0868	0,0296	0,0296
lood	0,0886	0,0503	0,0481

Dosis en kerma in materiaal zijn afhankelijk van ρ_{mat} en de $E_{fotonen}$



$$\frac{D_m}{D_l} = \frac{(\mu_{en}/\rho)_m}{(\mu_{en}/\rho)_l}$$

$$\frac{K_m}{K_l} = \frac{(\mu_{tr}/\rho)_m}{(\mu_{tr}/\rho)_l}$$

Let wel:

De kerma is evenredig met μ_{tr}/ρ en de geabsorbeerde dosis is evenredig met μ_{en}/ρ in een bepaald materiaal

a. $K_{lucht} = 1{,}0$ mGy

$$D_{lucht} = K_{lucht} \times (\mu_{en}/\rho)_l \,/\, (\mu_{tr}/\rho)_l$$

$$D_{lucht} = 1 \text{ mGy} \times (0{,}0296/0{,}0296) = 1{,}0 \text{ mGy}$$

Massieke verzwakking-, energieoverdracht- en energieabsorptiecoëfficiënt voor enkele materialen voor een fotonenergie van 0,5 MeV

Materiaal (cm^2g^{-1})	μ/ρ	μ_{tr}/ρ	μ_{en}/ρ
water	0,0966	0,0330	0,0330
spier	0,0958	0,0328	0,0328
bot	0,0926	0,0317	0,0317
lucht	0,0868	0,0296	0,0296
lood	0,0886	0,0503	0,0481

Let wel:

De kerma is evenredig met μ_{tr}/ρ en de geabsorbeerde dosis is evenredig met μ_{en}/ρ in een bepaald meteriaal

b. $K_{lucht} = 1{,}0$ mGy

$$K_{spier} = K_{lucht} \times (\mu_{tr}/\rho)_{spier} / (\mu_{tr}/\rho)_{l}$$

$$K_{spier} = 1 \text{ mGy} \times (0{,}0328/0{,}0296) = 1{,}11 \text{ mGy}$$

Massieke verzwakking-, energieoverdracht- en energieabsorptiecoëfficiënt voor enkele materialen voor een fotonenergie van 0,5 MeV

Materiaal (cm^2g^{-1})	μ/ρ	μ_{tr}/ρ	μ_{en}/ρ
water	0,0966	0,0330	0,0330
spier	0,0958	0,0328	0,0328
bot	0,0926	0,0317	0,0317
lucht	0,0868	0,0296	0,0296
lood	0,0886	0,0503	0,0481

Let wel:

De kerma is evenredig met μ_{tr}/ρ en de geabsorbeerde dosis is evenredig met μ_{en}/ρ in een bepaald materiaal!

c. $K_{lucht} = 1{,}0$ mGy

$$D_{bot} = D_{lucht} \times (\mu_{en}/\rho)_{bot} / (\mu_{en}/\rho)_{l}$$

$$D_{bot} = 1 \text{ mGy (zie a.)} \times (0{,}0317/0{,}0296) = 1{,}07 \text{ mGy}$$

The end for today!

Volgende keer:

- Bespreken/behandelen uit het oefenboek:
  - Hoofdstuk 7: vragen 3 en 5

  College: de rest ten aanzien van basale dosimetrie, inclusief de uitwendige dosimetrie/ detectie

- Bespreken/behandelen uit het oefenboek:
  - Hoofdstuk 9: vraag 1 t/m 5